موجز سبرينجر في الطاقة

تحليل الطاقة

S.W. Carmalt

اقتصاديات النفط

كتاب تمهيدي يشمل الجيولوجيا والطاقة والاقتصاد والسياسة

ترجمة

د. عمار محمد سلو أحمد العبادي

الطبعة الإنجليزية:



S.W. Carmalt
SW Consulting SA
Chambésy
Switzerland
And
Department of Earth Sciences
University of Geneva
Geneva
Switzerland

رقم الإيداع : 2021/25408

الترقيم الدولى: 9 - 55 - 6723 - 977 - 978

دار حميثرا للنشر
الطبعة الاولى 2023

التوزيع داخل جمهورية مصر العربية والسودان وشمال افريقيا ودول الخليج

جمهورية مصر العربية - القاهرة 26 ش شامبليون

ت : 01113664737 - 01007420665

البريد الالكترونى : Email : homysra@gmail.com

تمهيد

في أوائل عقد السبعينات من القرن الماضي كنت طالب دراسات عليا في الجيولوجيا، كما كنت جالساً في خطوط الغاز بسبب الحظر النفطي العربي، وعندما عُرضت علي وظيفة في شركة ستيز سيرفس Cities Service التي لا تزال شركة نفط كبرى، حينها اعتقدت أنني سأكون قادراً على فعل الخير لزملائي المواطنين من خلال العثور على المزيد من النفط وتحصيل رواتب سخية في أثناء العمل بالجيولوجيا.

عندما بدأت العمل، أدركت بسرعة أن عمل النفط كان أكثر بكثير من مجرد العثور على النفط، وهذا بالطبع كان ولا يزال ضرورياً، ولكن كانت هناك مسألة صغيرة تتعلق بكيفية إظهار الشركة للربح من هذا النشاط . بعد أن أمضيت سنوات عدة في تقييم جيولوجيا أهداف الاستكشاف المحتملة في جميع أنحاء العالم، وربما لأنني كنت أحد الجيولوجيين القلائل الذين لديهم معرفة أولية ببرمجة الكمبيوتر، فقد طُلب مني المساعدة في إجراء الحسابات لتحديد ما إذا كانت المشاريع ستكون مربحة أم لا.

مع تطور مسيرتنا المهنية فقد أدى ذلك إلى تولينا مناصب في قسم التخطيط بالشركة تبحث في القضايا الستراتيجية، وأن الزيادات في أسعار النفط في سبعينات القرن الماضي كانت قد دفعت الصناعة بأكملها إلى الحديث عن نظرية إم كينج هوبرت M. King Hubbert بأن إنتاج النفط سيبلغ ذروته، وقد تم تكليفنا بدراسة هذا الموضوع وغيره من القضايا طويلة الأجل.

اختفت شركة ستيز سيرفس Cities Service في توحيد صناعة النفط التي حدثت في الجزء الأول من عقد الثمانينات، وعلى الرغم من أننا حاولنا تجنب ذلك إلا أننا وجدنا أنفسنا عاطلين عن العمل، وكذلك الحال بالنسبة لمعظم الجيولوجيين الآخرين لذلك عملنا كمتخصصين في الكمبيوتر لعدة سنوات.

لكن الأمور تتحرك أحياناً في دوائر وبدءاً من أواخر عقد التسعينات، فقد بدأ نقص النفط يلوح في الأفق مرة أخرى، وكما حدث سابقاً فإن عملي الاستشاري للكمبيوتر جعلني أعمل في منظمة بيئية غير حكومية كانت مهتمة بتغير المناخ والاستدامة والقضايا البيئية الأخرى على أساس عالمي، إذ يعتقد العديد من علماء البيئة أن ذروة النفط العالمية ستنقذ المناخ - والعالم.

على الرغم من أن الاتفاق السياسي بدا مستحيلاً، إلا أن النفط «سينفد» وسيتم إنقاذ الأرض، لقد جعلني عملي السابق في صناعة النفط متشككاً في أن هذا الأمر سينجح على هذا النحو.

تنبأ كينيث ديفايز Kenneth Deffeyes الذي قد يُدعى بأنه تلميذ إم كينج هوبرت بأن ذروة إنتاج النفط العالمي ستكون في نوفمبر من عام 2005، لقد كان مُحقاً ومخطئاً في الوقت نفسه: مُحقاً وذلك لأن الإنتاج من نوع رواسب النفط التي كان كل من هوبرت ودفيز قد ناقشها بدأ في الانخفاض في عام 2005، لكنه كان مخطئاً لأن هناك أنواع أخرى من رواسب النفط . كما كان الحال عندما بدأنا العمل في شركة النفط، فإن هناك دوراً أكبر بكثير من مجرد طريقة تراكم النفط في التكوينات الجيولوجية.

لا يزال هذا التفاعل بين تراكمات النفط الجيولوجية والاقتصاد الخالص وتأثير العمليات والأحداث السياسية في اقتصاد النفط يذهلنا، كلنا نريد أن نعرف عن المستقبل وربما حتى توقعه، ويكمن التحدي في فهم العديد من اتجاهات التفاهم، إنه تحدٍ - وهو ممتع للغاية.

نشعر أن العالم الذي عرفناه منذ الثورة الصناعية آخذ في التغير، وفي الواقع فإنه يجب أن يتغير بسبب الضغط السكاني، وتوافر الموارد وتكنولوجيا المعلومات وتغير المناخ - وربما عوامل أخرى . إن هدفنا في هذا الكتاب هو إلقاء نظرة على صناعة النفط وكيف تتأثر بكل هذه التغييرات، لقد كان كتاباً ممتعاً، ونأمل أن تستمتعون به.

على طول الطريق كنا قد استفدنا من العديد من المحادثات المحفزة، والقائمة طويلة لكننا نريد أن نشير بشكل خاص إلى: روجر بنتلي Roger Bentley، وآرثر دال Arthur Dahl، وكين ديفايز Ken Deffeyes، وجون غولت John Gault، ويواكيم مونكيلبان Joachim Monkelbaan، وأندريا موسكاريلوAndrea Moscariello، وكين راسل Ken Russell، وديبوراه Deborah وفرانك فورهيس Frank Vorhies . في بعض الحالات قد يختلفون بشدة مع ما قلناه، لذلك نريد أن نوضح أنهم غير مسؤولين عن الأفكار المعروضة هنا، لكن هذا لا ينتقص من تحفيزهم الفكري ولا الأهم من ذلك كله وهو صداقتهم.

شكراً أخيراً لمحرر المسلسل تشارلز هول Charles Hall الذي كان صبوراً ومفيداً للغاية في أثناء الكتابة.

Chambésy, Switzerland **S.W. Carmalt**
November **2016**

المحتويات

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الفصل الأول

المقدمة

يعمل اقتصادنا بشكل أساسي على طاقة الوقود الأحفوري: المتمثلة في الفحم والنفط والغاز الطبيعي، ويوفر كل منها تقريباً نحو 30% من طاقة العالم ، وتأتي نسبة الـ 10% الأخيرة من جميع المصادر الأخرى المتمثلة في الطاقة النووية والطاقة المائية وطاقة الرياح والحرارة الشمسية والخلايا الكهروضوئية والطاقة الحرارية الأرضية والكتلة الحيوية وما إلى ذلك . إن 30% من الطاقة النفطية لها أهمية خاصة لأن النفط هو مصدر الطاقة الأساسي للنقل، إذ يعتمد الاقتصاد على النقل لنقل المواد الخام والسلع النهائية والأشخاص وحتى المعلومات من مكان إلى آخر، فإذا نفد النفط فإن الاقتصاد العالمي سيكون في ورطة خطيرة.

إن توفير النفط الكافي للاقتصاد هو مشروع تجاري وإن كان ذلك بمشاركة حكومية كبيرة على مر السنين، ويعد اكتشاف النفط وإنتاجه[1] وتكريره وبيعه صناعة عالمية كبرى تعتمد على الاستثمارات المالية الهائلة المطلوبة لدعم جميع جوانب صناعة البترول، إن أسعار النفط هي جزء من الأخبار المالية اليومية التي تؤثر في الجميع إبتداءً من رئيس مجلس إدارة شركة إكسون موبيل ExxonMobil إلى الشخص قروي في ميكونغ دلتا

(1) «الإنتاج» هو المصطلح المستخدم بعامة في صناعة النفط، بينما يفضل آخرون مصطلحات من مثل «استخراج» أو «استغلال».

Mekong Delta . إن شركات النفط سواء أكانت مملوكة ملكية عامة للعديد من المساهمين، أم مملوكة للدولة أم مملوكة للقطاع الخاص تستثمر مليارات الدولارات كل عام في الحفاظ على الاقتصاد نشيطاً وفعالاً، وأن عدداً كبير من شركات الخدمات المتخصصة يدعم هذه العملية، مما يوفر فرص عمل مشتركة لملايين الأشخاص.

تدخل الحكومة في صناعة النفط بشكل كبير، في حين أن صورة «النفط الكبير» بعامة هي لشركات من مثل ExxonMobil أو Chevron المملوكة ملكية عامة للمساهمين، فإن ما يقرب من ثلاثة أرباع إنتاج النفط العالمي يخضع فعلياً لسيطرة الشركات التي هي المالكة الأكبر، إن لم يكن المساهم الوحيد هو حكومة وطنية (Helman 2014). تستمد الدول الرئيسية المنتجة للنفط من مثل المملكة العربية السعودية والنرويج ونيجيريا وروسيا وفنزويلا الكثير من دخلها القومي من إنتاج النفط، وبالنسبة للعديد من البلدان الأخرى تعتبر الولايات المتحدة الأمريكية مثالاً على ذلك، إذ تعد تكلفة استيراد النفط مكوناً رئيساً في رصيد العملات الأجنبية لديها، وهكذا تصبح ترتيبات تجارة النفط وأسعار النفط عاملين مهمين لكل من السياسة الوطنية والعلاقات الدولية.

إن النفط ضخم ومن ثم فإن تخزينه يعد مكلفاً، وهذا يعني أن انقطاع إمدادات النفط في أي نقطة بين بئر النفط والمستخدم النهائي يمكن أن يسبب فوضى اقتصادية، فقدأثرت اضطرابات إمدادات النفط ذات الأساس السياسي في السبعينيات على ما بين 20% و 25 % من العرض العالمي لبضعة أشهر فحسب، لكن النتيجة كانت توقفاً عالمياً في النمو الاقتصادي العالمي (BP Statistics 2014) . منذ عام 1961 إلى عام 1973 كان نمو الناتج المحلي الإجمالي العالمي يزيد عن 4.0% كل عام ولكنه انخفض إلى ما يقرب من 0% في

عامي 1974 و 1975، وبعد التعافي في أواخر السبعينيات تراجع النمو مرة أخرى في عام 1980 عندما تسبب سقوط شاه إيران في انقطاع ثانٍ للإمدادات[1] وفي كل من هاتين الحالتين كانت الولايات المتحدة قد دُفِعَت بالفعل إلى ركود اقتصادي. إن تدخل الحكومة يتجاوز مجرد إنتاج النفط والضرائب والإعانات واللوائح في كل مرحلة من مراحل الصناعة لها تأثير كبير، وهي مصممة بعامة لضمان إمدادات موثوقة من الطاقة التي يوفرها النفط.

تعني اقتصاديات النفط أشياء مختلفة لمختلف الأفراد، فبالنسبة للبعض يتعلق الأمر في المقام الأول بما إذا كانت شركة معينة ستحقق أرباحاً خلال الفصول أو الأعوام القادمة، أو قد يكون القلق حول تأثير أسعار مضخات البنزين في الاقتصاد الكلي، وبالنسبة للآخرين قد تمثل اقتصاديات النفط القوة التي تتمتع بها صناعة النفط في العملية السياسية . قد يرى آخرون اقتصاديات النفط في سياق البيئة إذ يوفر الإطار الحالي الذي يجب قياس إمدادات الطاقة البديلة على أساسه، بينما يفكر المخططون الستراتيجيون في جميع المجالات بما في ذلك صناعة النفط في استمرار توفر هذا المورد القيم على أرض محدودة.

ترتبط اقتصاديات النفط ارتباطاً وثيقاً باقتصاديات الغاز الطبيعي، ابتداءً من الجيولوجيا التي يتكون فيها النفط والغاز مروراً بأساليب الحفر المستخدمة لإيجادهما واستخراجهما، إلى المحركات والتوربينات التي تحول طاقتهما إلى الشكل الذي نستخدمه بهما، ويرتبط هذان الوقودان ارتباطاً وثيقاً. بينما ينصب التركيز هنا على النفط فإن التداخل بين مصدري الطاقة في كل من التقنيات والشركات يعني أن هذا الكتاب غالباً ما يشمل اقتصاديات

(1) إن إحصاءات الناتج المحلي الإجمالي GDP مأخوذة من قاعدة بيانات البنك الدولي على الإنترنت (http://databank.worldbank.org ، تمت الزيارة في: 2014-12-17)..

الغاز الطبيعي أيضاً، وسنبدأ بفحص الربحية الفورية لاستخراج النفط ثم نوسع نظرتنا لتشمل العديد من الجوانب الأخرى لاقتصاديات النفط.

الفَصْلُ الثَّانِي

تمويل شركة النفط

إن تمويل شركة النفط هو حقاً جد بسيط، إذ تعمل شركات النفط والغاز لكسب المال لمساهميها - المساهمين الأفراد، أو في حالة الشركات المملوكة للدولة فالحكومة هي المالكة، إن كسب المال يعني أن الإيرادات أكبر من المصاريف، والشيطان يكمن في التفاصيل.

2-1: كيف تتخذ شركات النفط قرارات الاستثمار

لفهم كيفية اتخاذ شركات النفط لقراراتها بشكل أفضل، سننظر في مثال مالي مفرط التبسيط للتنقيب عن آفاق نفطية صغيرة. تعمل الشركة النفطية في مجال البحث عن النفط ومنتجاته المكررة وإنتاجها وبيعها، بينما تقوم البعض من الشركات بعمل واحد أو اثنين فحسب من هذه الأعمال، في حين أن شركات النفط المتكاملة الكبيرة تشارك من الاكتشاف الأولي للبئر إلى بيع البنزين إلى الزبون النهائي. وفي الواقع فإنه يتم استخدام نوع مماثل من النموذج المالي لكل قرار استثماري تقريباً تتخذه أي شركة في داخل اقتصاد السوق، وفي حين تم تطوير هذا النموذج الأساسي لشركات النفط الخاصة المملوكة للمساهمين، فإن العوامل الاقتصادية هي نفسها بشكل أساسي لشركات النفط المملوكة للدولة أيضاً.

تبحث شركة التنقيب عن النفط دائماً عن أماكن جيدة للتنقيب، تأتي الاقتراحات من جميع أنواع الأماكن؛ تاريخياً فإن تسرب النفط الطبيعي قد يشير إلى موقع جيد؛ وتشير آبار النفط الأخرى بالتأكيد إلى منطقة مثيرة للاهتمام، على الرغم من ما إذا كان هناك موقع متاح لبئر (آبار) إضافية هو أمر آخر؛ قد يقترح أصحاب العقارات بدءاً من مالكي المنازل الفرديين إلى الحكومات الوطنية أن لديهم منطقة محتملة جيدة؛ وقد تعرض شركات النفط

الأخرى مشاركة مخاطر استكشاف موقع معين؛ وأي شركة نفط من أي حجم سيكون لديها موظفين وظيفتهم ببساطة هي اقتراح المواقع، إن تاريخ صناعة النفط مليء بالحكايات وأحياناً ما تكون مضحكة حول متى ولماذا قرر العديد من الأفراد التنقيب في المكان الذي عملوا فيه.

بمجرد تحديد هدف الاستكشاف فإنه يكون لشركة النفط احتمال، وسيكون احتمالنا البسيط صغيراً - لفهم الموارد المالية بشكل أفضل، سنفترض أن بئراً واحدةً فحسب يكفي لإنتاج كل النفط (وهذا أمر غير واقعي)، وبعد تحديد توقعاتنا فإنه علينا الآن أن نبدأ في استثمار البعض من الأموال . أن واحدة من أهم ميزات الأعمال النفطية هي أنه يجب إنفاق مبالغ كبيرة من المال قبل أن يكون لدينا أي شيء نبيعه نتيجة لذلك، ومع استمرار العمل فإن الشركة ستطرح دائماً السؤال الآتي: «هل سيكسبنا هذا المال؟» يتم التخلي عن العديد من المشاريع في نقاط مختلفة على طول الطريق، ومن الجدير بالذكر أن أرباح المشاريع الناجحة يجب أن تكون كافية لتغطية نفقات تلك التي لم تنجح.

2-2: من يمتلك المورد؟

إن الشرط الأول هو التأكد من أن هذا هو المكان الذي يمكن حفر بئر فيه، وأن شركتنا لها الحق القانوني في القيام بذلك ومن المحتمل أن تستفيد من النجاح، وفي معظم أنحاء العالم فإن المعادن والموارد الموجودة في الأعماق تنتمي للحكومة، وفي الولايات المتحدة (وعدد قليل من الأماكن الأخرى) يُفترض أن مالك الأرض يمتلك كل شيء تحت الأرض، وفي كلتا الحالتين سيحتاج مالك المورد إلى البعض من التعويض عن ملكية[1] النفط والغاز المُنتَجَين. يُطلق على موظفي شركة النفط الذين يتفاوضون مع ملاك الأراضي تسمية رجال الأرض landmen في الصناعة. وفي الولايات المتحدة الأمريكية وغيرها من الأماكن ذات الملكية المعدنية الخاصة يزور رجال الأرض أصحاب

(1) يعود مصطلح الملكية إلى الوقت الذي كانت فيه ملكية الحكومة للأرض تعني أنها مملوكة للملك.

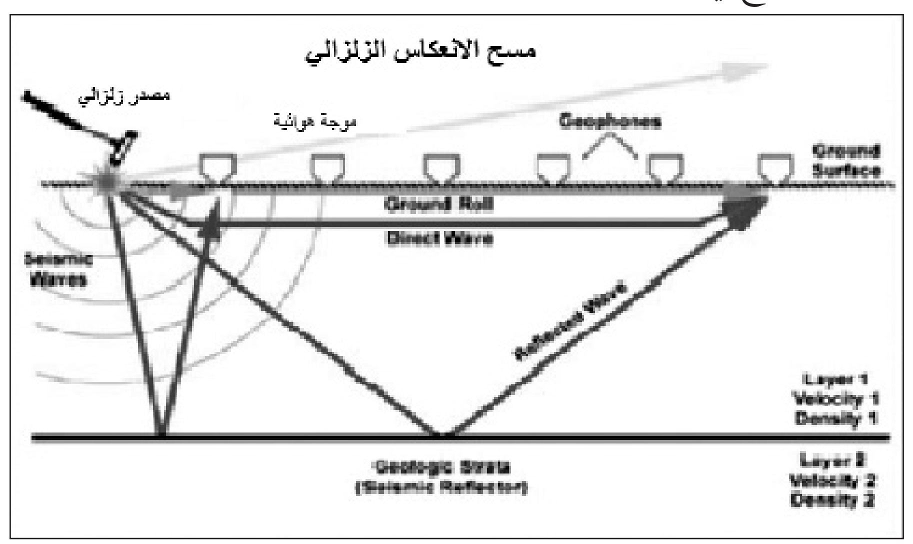
العقارات مع عروض تأجير أو شراء حقوق التعدين، ويقضون وقتاً في محاكم المقاطعات للبحث في سجلات ملكية الممتلكات، والتحدث مع ملاك الأراضي أو أي شخص آخر يمكنه مساعدتهم في العثور على أصحاب حقوق التعدين. تهتم الشركة بعامة بالمعادن الآن، لذا فإن نقطة البداية القياسية للتفاوض هي تأجير حقوق المعادن مقابل رسوم تسمى «مكافأة التوقيع» بالإضافة إلى الملكية المستقبلية، وهناك العديد من الاختلافات في شروط الإيجار كما يتصور المرء؛ السعر لكل فدان لمكافأة التوقيع والنسبة المئوية للإيرادات من البئر وما إلى ذلك، ونظراً لأن حقوق التعدين هي ملكية خاصة فإنه يمكن شراؤها وبيعها بشكل منفصل عن الممتلكات السطحية مما يتسبب في مشاكل ملكية معقدة، لذلك يجب على رجال الأرض فرز كل هذا قبل بدء الحفر، وفي هذا السياق كان قد ورد عن ج. بول جيتي J. Paul Getty ساخراً قوله : «قد يرث الوديع الأرض لكن ليس حقوقها المعدنية"٠.

أما خارج الولايات المتحدة فإن الوضع مختلف كثيراً، وبعامة فإن الحكومة تمتلك حقوق التعدين، ومن الأفضل تسمية رجال الأراض «بالدبلوماسيين التجاريين» الذين يتفاوضون مباشرة مع المسؤولين الحكوميين. ستنشئ الحكومة عادةً مساحات كبيرة إلى حد ما وغالباً ما تسمى الكتل التي يتم تأجيرها في الواقع لشركة النفط، مرة أخرى، يمكن أن تكون شروط عقد الإيجار تقريباً كل ما يمكن للمرء أن يتخيله - لقد سمعنا ذات مرة عن شركة نفط توافق على الاستثمار في عملية تصنيع دراجات كجزء من مفاوضات عقد الإيجار.

بينما يعمل رجال الأرض على شروط الملكية فإن الشركة ستستمر في دراسة المنطقة لتكرير تقييم النفط المحتمل وجوده، وذلك من خلال الدراسات الجيولوجية الإقليمية ومن البيانات التي يتم شراؤها وبيعها في صناعة النفط، وباستخدام نماذج مختلفة (Moscariello 2016) فإن الشركة ستفحص كل ما في وسعها حول هذا الاحتمال، وأن أهم البيانات وبعامة هي المسوح الزلزالية التي تم إجراؤها.

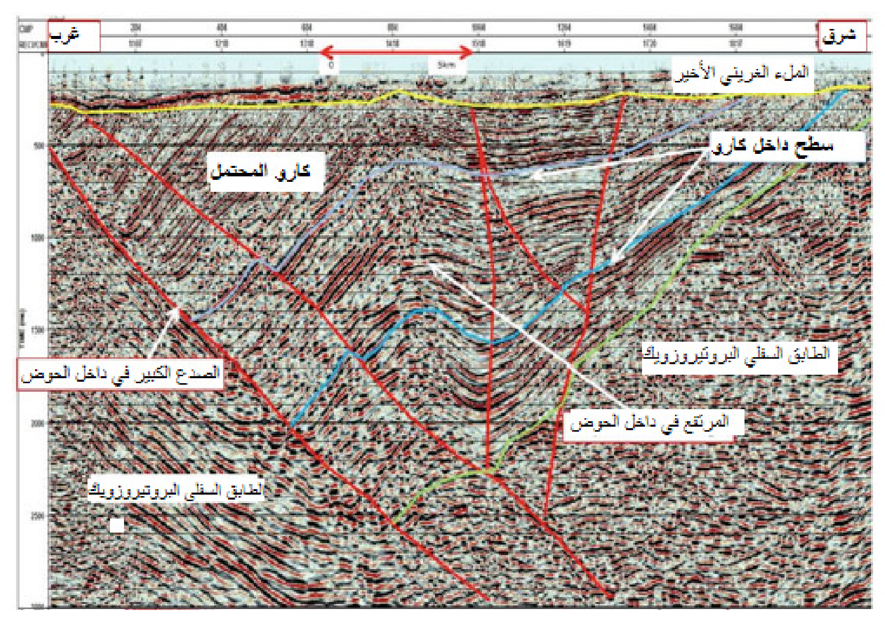
3-2: المسوح الزلزالية: تقييم المورد

يتمثل المبدأ الأساسي للمسح الزلزالي في إحداث اهتزازات عند نقطة معينة ثم معرفة المدة التي تستغرقها حتى تنعكس مرة أخرى إلى نقطة أخرى كما هو موضح في الشكل 2-1.



الشكل 2-1: منهجية الانعكاس الزلزالى [المصدر هيئة المسح الجيولوجي لولاية إلينوي (2012)]

عندما بدأت شركات النفط في إجراء المسوحات الزلزالية seismic surveys لأول مرة كانت قد استخدمت انفجارات ديناميت صغيرة للمصدر الزلزالي؛ واليوم يستخدمون شاحنات تصدر اهتزازات على سطح الأرض أو المدافع الهوائية في البحر لإصدار إشارة زلزالية . إن تحريك المصدر ومُجمِعات الجيوفون geophone collectors على طول الخط، ثم معالجة النتائج باستخدام قوة الحوسبة يؤدي إلى نوع من المقطع العرضي للصخور تحتها. تظهر نسخة مفسرة من هذا القسم الزلزالي في الشكل 2-2 وفي هذا المثال فإنه يمكن رؤية الطبقات الرسوبية لصخور كارو Karoo rocks على أنها مائلة ومنثنية، إن هذه الطبقات الرسوبية تم تعويضها أيضاً عن طريق الصدوع، ويمكن للمرء أن يرى البعض من الصخور «القاعديّة» غير الطبقية تحت الطبقات الرسوبية التي لا يُعتقد عموماً أنها ذات أهمية للبترول.



الشكل 2-3 : خط زلزالي مفسر [Source Swala Energy, PennEnergy] إن كارو عبارة عن مجموعة من الصخور الرسوبية ذات الطبقات. يمثل الخطان الأسود والأحمر الداكن طبقات جيولوجية، أما الخطوط الحمراء الساطعة فتمثل الصدوع؛ قد يكون هناك نقط محاصر في الطيات في الجزء العلوي من أعالي الحوض الرئيسي.

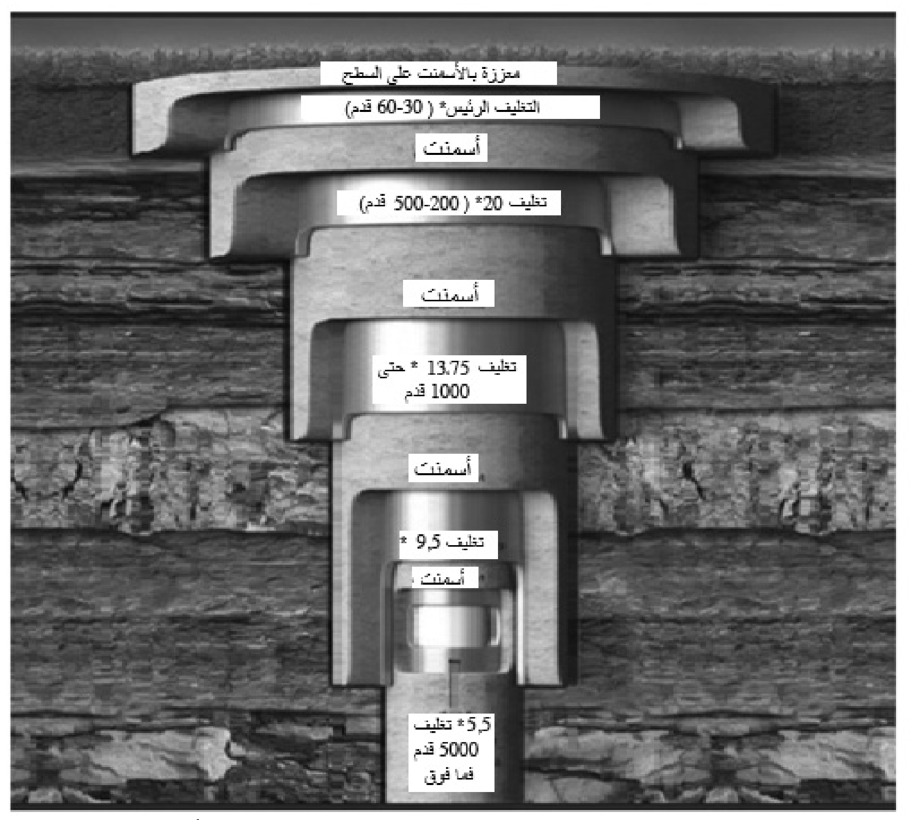
تستخدم المعالجة الزلزالية أكبر أجهزة الكمبيوتر وأسرعها، اليوم وبدلاً من التقدم ببساطة على طول الخط فإنه يتم ترتيب الجيوفونات بشكل متكرر في شبكة بحيث يمكن للمعالجة الناتجة أن توفر رؤية ثلاثية الأبعاد للصخور وتراكمات النفط والغاز المحتملة.

2-4: حفر البئر

بافتراض أن تحليلنا حتى الآن يشير إلى أننا يجب أن نحفر بئراً، عندها تقرر شركة النفط لدينا المضي قدماً في هذا الأمر، وهذه هي النفقات الكبيرة! سيكون احتمالنا البسيط على الأرض أن هناك اعتبارات إضافية للعمليات الخارجية تجعل الأمر أكثر تعقيداً وتكلفة. سيقوم المهندسون المدنيون بإعداد الموقع لجميع المرافق اللازمة لدعم الحفر الفعلي، وعلى وجه التحديد فإنه يجب أن يكون الموقع سهل الوصول إليه مما قد يتطلب الأمر بناء طريق للوصول إلى

البئر النفطية كانت أم الغازية، كما يجب تسوية منطقة العمل وتصريفها جيداً؛ كما يجب أن يكون هناك أحواض التخزين المبطنة أو صهاريج التخزين متاحة لطين الحفر؛ وكذلك توافر المؤن المخصصة لتخزين الوقود والكهرباء والمياه والصرف الصحي لأطقم العمل، وكذلك ستحتاج المنطقة إلى أن تكون مسورة وبوابة لإبعاد الحياة البرية ولأمنها . عادةً ما تتعاقد شركة النفط أو الغاز مع كل جانب من جوانب العملية مع شركة متخصصة في هذه المهمة بالذات، إذ سيتم منح عقد لشركة حفر متخصصة التي ستقوم بدورها في توفير جهاز الحفر وطاقم الحفر للقيام بالحفر الفعلي؛ وسيتم منح عقود فرعية للشركات لمراقبة تقدم البئر وتوفير معدات السلامة، والقيام بمهام محددة من مثل تدعيم الغلاف وهندسة طين الحفر والقيام بالتسجيل الجيوفيزيائي، وأي شيء آخر مطلوب للضمان وبأفضل شكل ممكن أن الجميع سوف يذهبون إلى الخطة.

يبدأ الحفر نفسه عندما تدخل لقمة الحفر الأرض لأول مرة وهذا هو تاريخ بداية الحفر، وهو أحد الإحصائيات التي يتم الإبلاغ عنها بشكل متكرر واستخدامها للتحليل، وبعد تقدم الحفر إلى صخور صلبة فإنه سيتم تركيب أنبوب بقطر كبير يسمى غلاف casing في الحفرة وأن أي فراغ بين الجزء الخارجي من هذا الأنبوب والصخر يكون مملوء بالإسمنت . عندما يتم ذلك بشكل صحيح فإنه يضمن أن الجزء الداخلي من البئر والصخور التي تم حفرها من خلالها يظلان معزولين عن بعضهما البعض، وأن هذه العزلة مهمة بخاصة في الأعماق الضحلة؛ وهي تحمي طبقات المياه الجوفية العذبة، ثم يتقدم الحفر بقطر أصغر قليلاً، ومع تعمق البئر فإنه يمكن استخدام الغلاف بشكل متكرر؛ وهناك مفاضلة واضحة بين العزل الضروري للبئر عن الصخور المحيطة وحقيقة أنه في كل مرة يتم فيها تركيب غلاف جديد، فإنه يجعل البئر أصغر. يوضح الشكل 2-3 برنامج تغليف نموذجي لآفاق الغاز في صخر مارسيلوس Marcellus في غرب ولاية بنسلفانيا Pennsylvania، وعندما تواجه الآبار البعض من المشاكل فإن أحد الأسباب الأكثر شيوعاً هو نوع من المشاكل مع الأسمنت بين الغلاف والصخور المحيطة.



الشكل 2-3 : برنامج غلاف بئر النفط في منطقة Marcellus المقياس الرأسى مضغوط بشكل كبير، حيث يبلغ عمق آبار النفط عادة أكثر من 1500 متر (5000 قدم)

[(**Source Frantz (2014**]

في أثناء عملية الحفر تنقلب ريشة الحفر على الصخور في قاع البئر فتكسر الصخر، يوجد المثقاب أسفل أنبوب فولاذي ثقيل وهو «جذع الحفر»، يتم ضخ سائل ثقيل يسمى الطين إلى أسفل داخل جذع الحفر؛ ويقوم كلاهما بتبريد لقمة الحفر في أثناء قطعه وإعادة تدويره إلى السطح بين جذع الحفر وداخل الغلاف حاملاً معه شظايا الصخور المحفورة، وأن الطين هو عبارة عن ملاط طيني مصمم بعناية، وأنه يمكن أن تكون كل من الخواص الفيزيائية والكيميائية حاسمة وذلك لأن خصائص الصخور التي يتم حفر البئر من خلالها ستختلف أيضاً، وسيتم إرجاع قطع الصخور التي تسمى القطع بشكل

مستمر إلى السطح بواسطة الطين المتداول ويتم فحصها، وحتى هذه النقطة فإنه تم جمع جميع المعلومات في هذا الموقع المعين بشكل غير مباشر، لكن القطع هي عينات مباشرة من الجيولوجيا . يتم رسم المعلومات التي تم جمعها مقابل العمق وأن النتيجة هي سجل البئر، إن القياسات الأخرى على سبيل المثال الخواص الكهربائية يتم رسمها أيضاً مقابل العمق مما يوفر سجلات كهربائية، ولقد كانت هذه الأمور تستخدم لتتطلب انقطاعاً دورياً للحفر بحيث يمكن إنزال الأدوات المتخصصة في البئر الموجود على كابل، مع تسجيل القراءات على أنها «سجلات خط الأسلاك»، واليوم فإنه لا يزال من الممكن استخدام هذا النوع من سجل خط الأسلاك، ولكن يمكن إجراء العديد من القياسات الآن في الوقت الفعلي باستخدام أدوات مثبتة بالقرب من.لقمة الحفر ويتم قياس النتائج عن بُعد على السطح في الوقت الفعلي.

عندما يتم الوصول إلى عمق الهدف والتشكيل الصخري عندها يكون الوقت قد حان لاختبار البئر، وأن كل شيء تقريباً يعتمد كل على هذه الاختبارات الأولى التي ستحدد ما إذا كانت البئر ستنتج ما يكفي من النفط أو الغاز ليكون ذلك نجاحاً اقتصادياء وستقيس الاختبارات معدل الإنتاج خلال فترة زمنية، ويمكن أن تتراوح معدلات إنتاج آبار النفط بين بضع عشرات من البراميل يومياً إلى أكثر من 10000 برميل يومياً . إن ما يعتبر «جيداً» سيعتمد على تفاصيل التوقعات الفردية من مثل عمق البئر والموقع البري أو البحري والبنية التحتية لنقل النفط إلى السوق والعديد من العوامل الأخرى، ويمكن أن تنتج آبار الغاز من بضع عشرات من آلاف الأقدام المكعبة في اليوم إلى أكثر من 50,000,000 قدم مكعب في اليوم، وبافتراض أن الاختبارات كانت مُرضية فإن الخطوة التالية ستكون إعداد البئر لحياتها كبئر منتجة، وإذا لم يكن الأمر كذلك فإنه سيتم إغلاق البئر بالخرسانة وتعتبر بئر مسدودة ومهجورة.

استطراد قصير: كيفية قياس النفط والغاز

يقاس النفط بعامة بالبراميل، وهذا هو الحجم المحدد بأنه يساوي 42 جالوناً أمريكياً(*)، يعود استخدام البراميل سعة 42 جالون Gallon إلى بدايات منتصف القرن التاسع عشر لصناعة النفط الأمريكية في ولاية بنسلفانيا Pennsylvania، وعلى مر السنين فقد اعتمدت معظم مناطق الإنتاج الأخرى هذا المقياس القياسي . إن الاستثناء الملحوظ هو أن الاتحاد السوفيتي السابق كان يقيس النفط بالوزن، ولا تزال البلدان التي كانت ضمن تلك المنطقة الاقتصادية تُبَلِغ كثيراً عن إنتاج النفط بالأطنان المترية بدلاً من البراميل.

إن التحويل بين البراميل والأطنان المترية ليس سهلاً، إذ تتراوح أنواع النفوط الخام المختلفة بين 6.5 برميل لكل طن متري (أثقل النفوط) إلى 7.9 برميل لكل طن متري (النفوط الأخف وزناً)، ويتم استخدام قيمة 7.33 برميل لكل طن متري بعامة إذا كانت قيمة النفط المحدد غير معروفة.

يقاس الغاز الطبيعي بالحجم، وفي الولايات المتحدة فإن المقياس هو القدم المكعب cubic feet، إذ يتم استخدام آلاف الأقدام المكعبة بعامة (وهي مختصرة بشكل محير mcf أو MCF2(**))، وفي العديد من البلدان الأخرى فإنه يتم القياس بالمتر المكعب cubic meter، على الرغم من أن تأثير الشركات الأمريكية الكبرى سيؤدي في بعض الأحيان إلى استخدام القدم المكعبة حتى في خارج الولايات المتحدة . للتحويل فإن 1 متر مكعب = 35.315 قدم مكعب (أو 1 قدم مكعب = 0.0283 متر مكعب)، وغالباً ما

(*) يعادل الجالون الأمريكي 128 أوقية سائلة أو نحو 3.785 لتر.

(**) MCF هو اختصار مشتق من الرقم الروماني M للألف ، وقد تم وضعه مع الأقدام المكعبة (CF) لقياس كمية الغاز الطبيعي، وهكذا فإنها تعني 1,000 قدم مكعب وليس 1,000,000 قدم مكعب ، على سبيل المثال ، تعمل بئر الغاز الطبيعي التي تنتج MCF 400 من الغاز يومياً بمعدل إنتاج يومي يبلغ 400000 قدم مكعب، ومن حيث إنتاج الطاقة فإن ألف قدم مكعب (MCF) من الغاز تساوي نحو BTU 1,000,000 (وحدات حرارية بريطانية)، وأن الكثير من الأفراد يعتقد خطأً أن M تمثل الكلمة الإنجليزية لكلمة مليون ، لكن هذا ليس هو الحال.

يتم شراء الغاز وبيعه من خلال محتواه من الطاقة الذي سيختلف نوعاً ما اعتماداً على مصدر الغاز المحدد، ويحدث أن ألف قدم مكعبة من الميثان (1 MCF) تحتوي على ما يقرب من مليون وحدة حرارية بريطانية (BTU تعني الوحدة الحرارية البريطانية التي لا تزال تستخدم بدلاً من السعرات الحرارية أو الجول أو كيلو واط / ساعة كمقياس للطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية)، وغالباً ما تكون أسعار الغاز المذكورة لملايين الوحدات الحرارية البريطانية (آلاف الأقدام المكعبة)، تمتلك أمريكا الشمالية أسواق الغاز الطبيعي الأكثر تطوراً، وأن سعر 3.85 دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية يبلغ تقريباً 3.85 دولار لكل 1000 قدم مكعب من الغاز الطبيعي.

إن برميلاً واحداً من النفط لديه طاقة تقريبية تعادل 5.8 MCF من الغاز الطبيعي، ونظراً لأن كلا من الغاز والنفط يمكن أن يتفاوتا في محتواهما من الطاقة، فإن استخدام 5.8 للتحويلات من الغاز إلى النفط هو تقدير تقريبي آخر. وبعامة فإنه يتم استخدام نسبة تقريبية أكثر من 6 MCF لكل برميل لتحويل الغاز الطبيعي إلى مكافئ النفط عند إجراء مقارنات أو تجميعات إقليمية أو عالمية. إن المقارنات بين النفط أو الغاز الطبيعي مع مصادر الطاقة الأخرى من مثل الفحم أو الطاقة الكهرومائية لديها المزيد من التفاصيل المنهجية للنظر فيها. وبعامة يتمثل النهج في تحويل كل شيء إما إلى براميل نفط (تصبح الكميات المحولة براميل من مكافئ النفط أو برميل نفط) أو إلى كيلوواط / ساعة (كيلووات ساعة)، ويوصى رسمياً باستخدام وحدة الطاقة SI للجول، وأنه غالباً ما تكون الوحدات في من مثل هذه المقارنات الملايين أو المليارات أو التريليونات وأنه يجب توخي الحذر مع هذا الجانب من أي تحويل

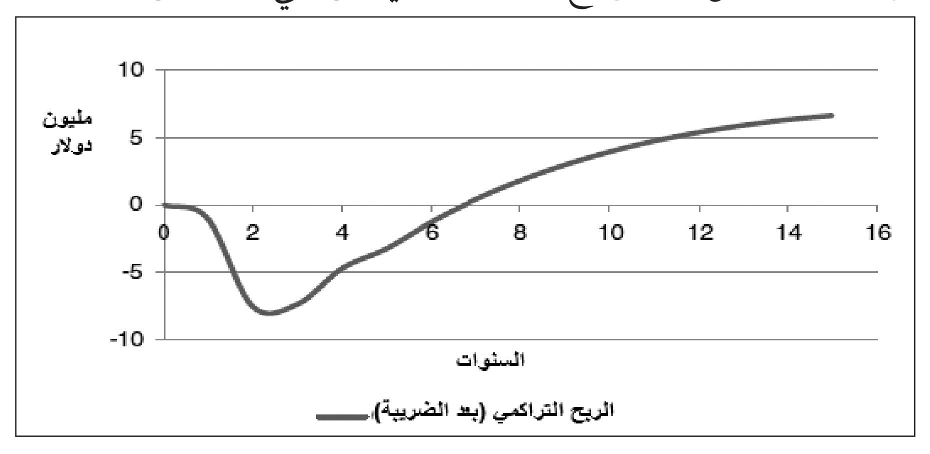
5-2 : كم سيكلف كل هذا؟ هل ستكسب الشركة المال؟

إن المبادئ الأساسية لتمويل آفاق النفط المستقبلية لدينا هي تلك المتعلقة بتمويل المشاريع، وأنه بإمكاننا أن نرى مثالاً مبسطاً لنموذج مالي لمشروعنا في الجدول 2-1، إن «الربح بعد الضريبة» هو ما يسميه الكثيرون بـ «المحصلة النهائية».

وعلى الرغم من المبالغة في التبسيط إلى درجة أنه يُعد أمراً غير واقعي، فإن الجدول 2-1 هو مثال مفيد لتوضيح البعض من النقاط المهمة في عملية صنع القرار في شركة النفط قبل أن نبدأ في تحليل نموذجنا المالي، إليك البعض من التفاصيل الإضافية المستخدمة في هذا المثال المحدد.

نقدر أن الإنتاج سينخفض بنسبة 12.5% لكل عام عن قيمة العام السابق، وهذا أمر غير واقعي لكنه سيسمح لنموذجنا بتوضيح البعض من النقاط، سيقال المزيد عن معدلات التراجع لاحقاً، وسيكون سعر النفط 90 دولار للبرميل في جميع مراحل مشروعنا؛ وهذا أعلى بكثير من سعر النفط الحالي . إن وضع 40 دولار للبرميل سيجعل مشروعنا غير اقتصادي، لكننا قد نحتفظ بهذا في ملفنا ونُفعِّل الخطة إذا اعتقدنا أن الأسعار ستعود إلى مستويات أعلى في عام أو عامين آخرين . سيحصل مالك الأرض على حقوق الملكية بنسبة 15% . ونظراً لوقت تطوير التنقيب وتحضير الموقع للحفر وحفر البئر، فإننا سنرى الإنتاج الأولي فحسب في السنة الثالثة. وأنه اعتباراً من السنة الرابعة ستنتج البئر 300 يوم كل عام، وهذا يسمح ليومين في الشهر لأية عمليات صيانة وما إلى ذلك، إن السنة الثالثة سيكون لها سنة إنتاج جزئي فحسب، وفي البداية ستنتج البئر بشكل طبيعي نتيجة للضغط تحت السطحي، لكن في العام الخامس قررنا أنه علينا إنفاق مليون دولار إضافي لتركيب مضخة لأن الضغط آخذ في الانخفاض، وبشكل غير واقعي لا يتأثر منحنى انخفاض الإنتاج والأيام التي لا يوجد فيها إنتاج في نموذجنا بهذا. تشمل تكاليف التشغيل رسماً ثابتاً مقداره 500,000 دولار سنوياً وذلك لتغطية تكاليف مكتب الشركة (المدراء التنفيذيين والمحامين والمحاسبين وما إلى ذلك). بالإضافة إلى ذلك فإن التكاليف المنسوبة مباشرة إلى هذه البئر المنتجة بالتحديد ستكون 10% من عائدات البئر، تفرض هذه الولاية الحكومية ضريبة 10% (ضريبة إنهاء الخدمة) وذلك بناءً على قيمة النفط المنتج وهذا هو في الأساس ملكية إضافية، وسنفترض أن الشركة تدفع ضريبة دخل بنسبة 20% على أرباحها.

إن هذه الافتراضات هي افتراضات بسيطة للغاية، لكنها تسمح لنا بفحص النموذج المالي ولفت الانتباه إلى عدد من العوامل التي سيتم أخذها في نظر الاعتبار عند اتخاذ قرار بشأن ما إذا كان يجب حفر هذه البئر. إن النظرة الأولى على هذا النموذج المالي تبين أن الشركة ستجني 10.2 مليون دولار من هذا المبلغ قبل فرض ضريبة الدخل، و 6.7 مليون دولار بعد الضريبة، وأن الرقم بعد الضريبة هو رقم تخميني وذلك لأنه سيتم دمج أرباح هذا المشروع مع الأرباح والخسائر من أنشطة الشركات الأخرى لتحديد ضريبة الشركة الإجمالية، والشكل 2-4 يوضح التدفق النقدي التراكمي لهذه البئر.



الشكل 2-4 الربح التراكمي (التدفق النقدي) لمشروع بسيط

كما لاحظنا بالفعل فإن التكاليف تميل إلى بداية المشروع، وستحتاج شركتنا إلى توفير 8 ملايين دولار للاستثمار في هذا، ولن يتم استرداد هذه الأموال إلا في العام السابع إذا تم اقتراض هذا المال . فإذا تم اقتراض هذه الأموال فإنه سيتعين علينا دفع فائدة عليها؛ وعادةً ما تقوم الشركة بتضمين تكاليف صناديق الاستثمار هذه في نماذجها المالية لتعكس تكلفة استخدام الأموال لهذا المشروع بالذات.

	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7	Year 8	Year 9	Year 10	Year 11	Year 12	Year 13	Year 14	Year 15	Totals
Revenue																
Oil (bbls per day)			250	219	192	167	147	128	112	98	86	75	66	58	50	
Price/bbl	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
Sales revenue	0	0	21,60,000	59,13,000	51,84,000	45,09,000	39,69,000	34,56,000	30,24,000	26,46,000	23,22000	20,25,000	17,82,000	15,66,000	13,50,000	3,99,06,000
Expenses																
Predrilling	5,00,000	10,00,000														15,00,000
Drilling		50,00,000														50,00,000
Completion			7,50,000		10,00,000											17,50,000
Royalty			3,24,000	8,86,950	7,77,600	6,76,350	5,95,350	5,18,400	4,53,600	3,96,900	3,48,300	3,03,750	2,67,300	2,34,900	2,02,500	59,85,900
Operating costs	5,00,000	5,00,000	7,16,000	10,91,300	10,18,400	9,50,900	8,96,900	8,45,600	8,02,400	7,64,600	7,32,200	7,02,500	6,78,200	6,56,600	6,35,000	1,14,90,600
Severence tax			2,16,000	5,91,300	5,81,400	4,50,900	3,96,900	3,45,600	3,02,400	2,64,600	2,32,200	2,02,500	1,78,200	1,56,600	1,35,000	39,90,600
Total expenses	10,00,000	65,00,000	20,06,000	25,69,550	33,14,400	20,78,150	18,89,150	17,09,600	15,58,400	14,26,100	13,12700	12,08,750	11,23,700	10,48,100	9,72,500	2,97,17,100
Results																
Profit before tax	−10,00,000	−65,00,000	1,54,000	33,43,450	18,69,600	24,30,850	20,79,850	17,46,400	14,65,600	12,19,900	10,09300	8,16,250	6,58,300	5,17,900	3,77,500	1,01,88,900
Taxes (20% of profit)	0	0	30,800	6,68,690	3,73,920	4,86,170	4,15,970	3,49,280	2,93,120	2,43,980	2,01,860	1,63,250	1,31,660	1,03,580	75,500	35,37,780
Profit after tax	−10,00,000	−65,00,000	1,23,200	26,74,760	14,95,680	19,44,680	16,63,880	13,97,120	11,72,480	9,75,920	8,07,440	6,53,000	5,26,640	4,14,320	3,02,000	66,51,120
Metrics																
NPV @ 5%	−10,00,000	−63,10,680	1,16,128	24,47,784	13,28,892	16,77,498	13,93,473	11,35,986	9,25,567	7,47,961	6,00,811	4,71,741	3,69,375	2,82,132	1,99,658	43,86,327
IRR	13.0%															

الجدول 2-1 : نموذج اقتصادي بسيط لحقل نفطي يتكون من بئر نفطية واحدة

بالإضافة إلى تكلفة الفترة الأولية للنقد السلبي negative cash ووقت الدفع والوقت الذي ستستعيد فيه الشركة الأموال التي أنفقتها على الأقل، وسيكون أيضاً عاملاً عندما تقوم الشركة بتجميع مجموعة من المشاريع.

ربما سيكون أول ما يلاحظه المرء في نموذجنا المالي هو أن سعر النفط ظل ثابتاً خلال عمر المشروع، ومن الواضح أنه سيتعين علينا استخدام تخمين مدروس حول هذا الأمر، ولكن من الواضح أيضاً أنه مهما كان هذا التخمين المتعلم فإنه سيكون مهماً في التحليل المالي، لهذا السبب فإن شركات النفط تتبنى وبعامة توقعات أسعار على مستوى الشركة تُستخدم في جميع تقييمات المشاريع، وهذا سيسمح للمدراء الذين يتعين عليهم الاختيار من بين المشاريع أن يكون لديهم أساس ثابت للمقارنة، وأن شركات النفط الكبرى تمتلك مكاتب كاملة يكون تسليمها الأساسي هو توقعات أسعار الشركة.

بالإضافة إلى الاضطرار إلى تقدير سعر النفط في المستقبل فإن معدل الإنتاج سيكون عبارة عن تقدير أيضاً، فإذا تم حفر بئرنا في منطقة فيها إنتاج نفطي حالي، فقد تكون الكميات الأولية ونسب الانخفاض معروفة بشكل جيد، ولكن في المناطق الأقل تطوراً قد يكون هناك قدر أكبر من عدم اليقين في هذه التقديرات، كما يجب أيضاً تقدير التكاليف في المستقبل، وباختصار فإن إعداد هذا النموذج البسيط يتطلب خبرة عدد من المتخصصين الذين سيكونون قد استخدموا حكمهم المهني وقدموا أفضل تقديراتهم، وستكون هناك دائماً تفاصيل غير صحيحة والسؤال الأساسي هو ما مدى الخطأ فيها؟

سيشكل نموذجنا المالي البسيط الأساس لتقرير ما إذا كان يجب علينا حفر هذه البئر، وعلى هذا النحو سيتم مقارنته بنماذج التوقعات والمشاريع الأخرى، وأن السؤال هو ما هي أفضل طريقة لمقارنتهم؟ إن الأرقام نفسها مهمة لكن البعض من الحسابات ستجعل المهمة أسهل، وأن هذه المقاييس هي جزء مهم من العملية.

6-2: المقاييس المالية

إن المقياس الأول الذي سننظر فيه هو عائد الاستثمار Return on Investment الذي سيشار إليه إختصاراً بـ (ROI)، نحن نناقش الشؤون المالية هنا لذلك وبالمعنى الدقيق للكلمة فإن هذا هو العائد النقدي على الاستثمار [1]. ولكن عند استخدامه في سياق مالي وهو الاستخدام الأكثر شيوعاً فإن عائد الاستثمار هو العائد النقدي أو المالي على الاستثمار، إن عائد الاستثمار هو نسبة، ويتم تعريف عائد الاستثمار المالي على النحو الآتي:

$$\text{العائد على الاستثمار ROI} = \frac{\text{الربح من الاستثمار - تكلفة الاستثمار}}{\text{تكلفة الاستثمار}}$$

في مثالنا، نعتبر المكاسب هي عائدات المبيعات مطروحاً منها مصاريف التشغيل وتكلفة الاستثمارات كتكاليف ما قبل الحفر والحفر والإكمال

$$\text{ROI} = \frac{\$18,438,900 - \$8,250,000}{\$8,250,000} = 124\%.$$

في الحساب أعلاه كنا قد تجاهلنا ضريبة الدخل الافتراضية التي ستدفعها الشركة على عوائد المشروع، فإذا قمنا بتضمين هذا في الحساب فإننا سنحصل على:

$$\text{ROI} = \frac{\$14,901,120 - \$8,250,000}{\$8,250,000} = 81\%.$$

يوضح هذا إحدى المشاكل الرئيسة في تحليل عائد الاستثمار - إذ يمكن أن تختلف النتيجة اعتماداً على ما تم تضمينه بالضبط في الحساب، بينما يتم استخدام عائد الاستثمار بشكل متكرر لمقارنة المشاريع والشركات فإنه يجب توخي الحذر لضمان إجراء كل عملية حسابية بطريقة مماثلة. على سبيل المثال، في مشروعنا البسيط كنا قد أخذنا في نظر الاعتبار نفقات «ما قبل الحفر» كعنصر رأسمالي (استثمار)، ولكن هنا نواجه هذا التساؤل وهو: هل أن

---

(1) في الفصل السادس سنناقش بشكل مطول حساب مكافئ الطاقة حيث ستكون جميع القيم بوحدات الطاقة، وعند حساب وحدات الطاقة سيشتمل الاختصار دائماً على E و EROI و EROEI و EROIE كلها تستخدم

هذه النفقات هي استثمارات فعلية إذا تم تنفيذها قبل أن نتخذ قراراً بشأن حفر البئر؟ إن اتخاذ قرارات من مثل هذا هو العمل اليومي لأقسام المحاسبة والضرائب (التي قد تستخدم تعريفات مختلفة إلى حد ما وتصل إلى إجابات مختلفة)، وعند استخدام عائد الاستثمار لمقارنة مشروع بآخر سواء أكان ذلك في داخل الشركات أم بينها، ويجب أن يكون الاعتبار الأول هو ما إذا كان الحساب قد تم بالطريقة نفسها لكل منهما.

إن المشكلة الرئيسة الثانية في حسابات عائد الاستثمار هي أنه لا يأخذ في الحسبان التوقيت، إن حساب ما بعد الضريبة أعلاه يمنحنا 81% بعد 15 عاماً، لكن إذا ما نظرنا إلى 8 سنوات فحسب فسيكون الحساب نفسه هو:

$$\mathrm{ROI} = \frac{\$10,049,320 - \$8,250,000}{\$8,250,000} = 22\%.$$

والسؤال هو: أي رقم يجب علينا استخدامه؟

يُبرِز لنا حساب عائد الاستثمار قضية مهمة، وهي أنه ليست «تكلفة الاستثمار» أو المصاريف الرأسمالية هي المصاريف الوحيدة في المشروع - فهناك أيضاً تكاليف التشغيل التي يجب خصمها للوصول إلى «مكاسب الاستثمار». إن التكاليف الأخيرة لا تُعد استثماراً، ومن ثم فإنها غير مُدرجة في مقام حساب عائد الاستثمار، وغالباً ما يتم اختصار هاتين الفئتين من المدفوعات في المناقشات إلى «النفقات الرأسمالية» و«النفقات التشغيلية» للمصروفات الرأسمالية ونفقات التشغيل . إنه لا يتم التعامل معهم بشكل مختلف في حساب عائد الاستثمار فحسب، بل يتم أيضاً معاملتهم بشكل مختلف في عدد من الملخصات المحاسبية الأخرى وفي المعاملة الضريبية التي يتلقونها. يمكن تمييز هذا التقسيم للنفقات من خلال تحليل التقارير المالية التي يتعين على الشركات العامة نشرها، ومن الناحية المفاهيمية فإن النفقات الرأسمالية تمثل الأموال التي تستثمرها الشركة في مستقبلها، في حين أن النفقات التشغيلية

هي الأموال التي يتعين على الشركة إنفاقها فحسب للبقاء في العمل . وفي حين أن هناك البعض من الاختلافات في الطريقة التي تصنف بها شركات النفط والغاز المتداولة نفقاتها علناً، فإن أرقام استثمار رأس المال تُعد مفيدةً في مقارنة الشركات، فإذا ما انخفضت النفقات الرأسمالية للشركة بشكل كبير فهذا يعني أنها لا تستثمر في المستقبل، ولهذا السبب فإنه يتم إجراء مقارنات النفقات الرأسمالية بشكل متكرر عند اختيار شركات النفط التي سيكون لديها استثمارات أفضل. في داخل شركة النفط فإنه قد يكون من المهم فهم مقدار النفقات الرأسمالية التي يتم استثمارها في الاستكشاف مقارنة بالمقدار المُستَثمَر في عمليات التكرير وفي صناعة النفط والغاز، ويمكن للمرء أن يقارن النفقات الرأسمالية في التنقيب عن النفط مع النفقات الرأسمالية في استكشاف الغاز؛ أما في داخل المجتمع فإنه قد يكون من المفيد فهم النفقات الرأسمالية الموضوعة في الوقود الأحفوري مقارنة بتلك التي يتم وضعها في مصادر الطاقة المتجددة.

نظراً لأن عائد الاستثمار يتجاهل البعد الزمني، فما هي أفضل طريقة لإدراج هذا العنصر في مقاييس مشروعنا؟ لقد لاحظنا بالفعل أن معظم مشاريع النفط والغاز لها عمر طويل للمشاريع وأن تكلفة الأموال المستثمرة مدرجة في التوقعات المالية، وأنه يتم استخدام عمليتين حسابيتين بشكل متكرر لتضمين اعتبارات الوقت هما :

1 - صافي القيمة الحالية (Net Present Value (NPV و2 - معدل العائد الداخلي(Internal Rate of Return (IRR وأن كلاهما متاح كصيغ في جداول البيانات مما يسهل حسابهما، يحول حساب صافي القيمة الحالية جميع التدفقات النقدية المستقبلية إلى الحاضر بسعر فائدة محدد. وبإخضاع كل هذه التدفقات النقدية لحسابات الفائدة هذه فإنه يتم تحديد «قيمة حالية» واحدة للمشروع. إن إحدى طرائق الحسابات لمن مثل هذه يمكن أن تكون مفيدة إذا قررنا

المضي قدماً مع مشروعنا المحتمل، ولكن قبل إنفاق أي أموال عليه تأتي شركة أخرى وتطلب شراء مشروعنا المحتمل، والسؤال هو بماذا نبيعه؟ سيكون صافي القيمة الحالية نقطة انطلاق لمن مثل هذا التفاوض لأنه يمثل القيمة اليوم إذا كانت جميع الإيرادات المستقبلية متاحة للاستثمار بسعر الفائدة المحدد[1] . عند استخدام صافي القيمة الحالية لمقارنة المشاريع فإنه من المهم أن يكون سعر الفائدة المستخدم في الحساب هو نفسه، ومن ثم يجب أن تحدد صافي القيمة الحالية دائماً سعر الفائدة المستخدم (على سبيل المثال صافي القيمة الحالية عند سعر فائدة 3%).

يرتبط معدل العائد الداخلي بصافي القيمة الحالية وهو ببساطة سعر الفائدة الذي ينتج عنه صافي القيمة الحالية (0)، وهذا يسمح بمقارنة المشاريع المختلفة مباشرةً برقم واحد، فإذا قمنا بتقييم اثنين من الاحتمالات أحدهما بمعدل عائد داخلي يبلغ 9% والآخر بمعدل عائد داخلي يبلغ 15% فإن الأخير هو المشروع الأفضل مالياً. لكن مع ذلك فإن ما لا يفعله معدل العائد الداخلي هو أخذ حجم المشروع في نظر الاعتبار، لذلك لا نعرف ما إذا كان المشروع الذي تبلغ نسبته 15% سيحدث فرقاً كبيراً في كمية النفط المتاحة للشركة للبيع في 10 سنوات، أو ربما إفلاس الشركة قبل أن تبدأ بالإنتاج، لكن مع ذلك فإنه في كلتا الحالتين فإن مشروعاً فردياً محتملاً قد يصنع احساساً مالياً جيداً أو ضعيفاء ولقد قدم هينريكسنHenriksen في عام 2004 عرضاً واضحاً للبعض من هذه المقاييس.

تشترك جميع المقاييس المالية التي تتضمن القيمة الزمنية للنقود في شيء واحد - فكلما انخفض سعر الفائدة زاد تأثير النتائج التي ستحصل عليها سنوات عديدة في المستقبل على التقييم الحالي، ولوضع هذا الأمر بطريقة أخرى فإنه عندما تكون أسعار الفائدة مرتفعة فإن قيمة تدفق الإيرادات البعيدة

(1) في هذه الحالة، يُطلق على السعر اسم سعر الخصم بدلًا من سعر الفائدة، إنه الشيء نفسه.

تكون منخفضة . ومن ثم فإنه خلال أوقات ارتفاع أسعار الفائدة فسوف تميل المشاريع نحو العوائد السريعة، وعلى العكس من ذلك عندما تكون أسعار الفائدة منخفضة فإن القيمة الزمنية للنقود تكون منخفضة وتصبح المشاريع طويلة الأجل أكثر جاذبية نسبياً، ونظراً لأن العديد من مشاريع صناعة النفط والغاز لها متوسط عمر متوقع يتراوح بين 30 و 50 عام، فإن هذا أمر مهم على الرغم من أنه نادراً ما يكون هناك احتمال وجود بئر واحدة طويلة الأمد.

7-2: مشاريع أكثر تعقيداً

قد يستغرق المشروع الخارجي ما يصل إلى 10 سنوات بين القرار الأولي للمضي قدماً ووقت الإنتاج الأول، وبافتراض نجاح البئر الأولى فإنه قد يلزم حفر العديد من آبار التقييم الإضافي قبل معرفة ما يكفي عن الحقل لاتخاذ قرارات جيدة حول كيفية إنتاج الحقل، بعد ذلك فإنه يجب تصميم المنصات وبناؤها وتركيبها ثم يتم حفر الآبار المنتجة واستكمالها. أخيراً فإنه يجب إنشاء البنية التحتية اللازمة لنقل النفط أو الغاز من المنشأة البحرية إلى المشتري، وغالباً ما تكلف هذه المشاريع مليارات الدولارات، لذا فإن جدول البيانات البسيط المكون من بئر واحدة هو مجرد البداية.

لكن المبادئ تبقى كما هي، والأمر هو أن جدول (جداول) البيانات يصبح أكبر بكثير وأكثر تعقيداً، وفي الممارسة العملية تُستخدم نماذج الكمبيوتر الصناعية المتخصصة لحساب العوائد المالية المتوقعة والمقاييس للمشروع المحتمل.

إن تطوير حقول الغاز الرئيسة سواء أكانت البرية منها أم البحرية عادة ما يكون مسعى طويل الأجل، ومشكلة الغاز هي أن نقله أصعب من نقل النفط، ولأي كمية كبيرة فإنه يجب بناء خطوط الأنابيب أو يحتاج الغاز إلى التسييل، إن الغاز الطبيعي هو الميثان في المقام الأول الذي يتحول إلى سائل عند تبريده إلى أقل من −162 درجة مئوية . إن محطة التبريد هذه عند الاقتضاء

هي مصروفات رأسمالية رئيسة في ميزانية البناء، وسيستهلك تشغيلها 8% إلى 15% من الغاز المنتج أصلاً (Foss 2007; Chandra 2014).

خلال تطوير أي مشروع محتمل وتنفيذه فإن المشروع سيكون دائماً قيد المراجعة المالية، وأن السؤال هو: «هل أن الأمور تسير مالياً؟» وفي بعض النقاط من عمر المشروع، سيخضع السؤال لفحص دقيق بشكل خاص، وستعتمد هذه النقاط جزئياً على المبلغ المستثمر بالفعل وطبيعة المشروع المحتمل . على سبيل المثال في العديد من بلدان العالم فإن العقد الذي يمنح الإذن باستكشاف النفط أو الغاز وإنتاجهما قد يتطلب حفر عدد معين من الآبار؛ وبمجرد توقيع من مثل هذا العقد فإن مسألة المضي قدماً في حفر بئر تأخذ طبيعة مختلفة، ولكن بعامة فإن نقاط القرار الحاسمة هي: ما إذا كان يجب الحصول على الحقوق والمضي قدماً في المشروع، وما إذا كان سيتم المضي قدماً في الحفر، وما إذا كان سيتم اعتبار البئر ناجحة وإكمالها للإنتاج، وفي وقت لاحق ما إذا كان سيتم تثبيت تقنية لتحسين الإنتاج (مضخة في مثالنا البسيط)، وأخيراً متى سيتم توصيل البئر ومتى سيتم التخلي عنها.

يتم اتخاذ جميع قرارات العمل بمعرفة غير كاملة، إن اثنان من المخاطر الرئيسة في نموذج توقعات النفط البسيطة لدينا هما:

أن سعر النفط المستقبلي ليس ما استخدمناه، وأننا نجد النفط بالفعل وننتجه بالمعدل المتوقع، وأن هناك العديد من العوامل التي تؤثر في الأسعار المستقبلية للنفط . قد يختلف المحللون ذوو الخبرة والمعرفة بشكل ملحوظ، ففي عام 2014 توقعت مجموعة السلع في Citicorp وهي المؤسسة المالية العالمية، أن أسعار النفط ستنخفض إلى نطاق 70 دولار للبرميل بينما قال الرئيس التنفيذي لشركة شيفرون Chevron في الوقت نفسه أن «110 دولارات لبرميل النفط هو الوضع الطبيعي الجديد“ (Kopits 2014). الحقيقة الوحيدة هي أن هذين التنبؤين لأسعار النفط لا يمكن أن يكونا صحيحين، سنعود إلى هذه المسألة عندما ندرس السياق العالمي للنفط في الفصول اللاحقة.

إن الخطر الرئيسي الآخر هو أننا لن نجد النفط الذي نتوقعه، إذ تقع حقول النفط النموذجية على أعماق تتراوح بين 1500 و 4000 م (5000-12500 قدم)، في حين أن المسوحات السيزمية الحديثة modern seismic surveys وبخاصة المسوحات التفصيلية ثلاثية الأبعاد 3-D السابقة للحفر يمكن أن تنقل قدراً كبيراً من المعلومات حول باطن الأرض، إلا أنه فقط عندما يتم حفر التنقيب واختباره فإننا نعرف حقاً تكوين خصائص السوائل والصخور، وعلى الرغم من الكتب المدرسية الجيولوجية فإن الطبقات تحت السطحية ليست طبقات متجانسة من الصخور وبدلاً من ذلك فإن الصخور تتغير في طبيعتها التفصيلية أفقياً وعمودياً على مقياس من السنتيمترات والأمتار، لذا فإن القياسات غير المباشرة المأخوذة من آلاف الأمتار أعلاه ستكون بطبيعة الحال غير كاملة.

من الطبيعي أن شركات النفط لا تكتشف رواسب نفطية جديدة بمشاريع «بئر واحدة»، إذ سيتم إجراء تحليل بئر واحدة فحسب كجزء من تطوير مشروع أكبر - وهو حقل النفط، لكن التحليل المالي لحقل نفط متعدد الآبار هو نفسه في الأساس ولكنه أكثر تعقيداً، ويتم إضافة جميع تكاليف حفر الآبار معاً، وكذلك الإيرادات من جميع الآبار مع إجراء الحسابات على المجاميع . وبالاعتماد على البعد الجغرافي لآفاق النفط فإنه يمكن أن تصبح تكاليف البنية التحتية كبيرة بسهولة، وهذا صحيح وبخاصة عند العمل في الخارج إذ أنه من المحتمل أن يكون من الضروري إنشاء منصات يمكن أن تصل بسهولة إلى مئات الملايين من الدولارات.

8-2: تأثيرات السياسة الحكومية

قبل أن ننتقل إلى أكثر من مجرد احتمال وجود بئر واحدة فإن هناك جانب آخر أكثر أهمية يجب إضافته إلى نموذجنا المالي وهو «سياسة الحكومة»، على سبيل المثال سوف نستخدم السياسة الضريبية للحكومة فيما يتعلق باستهلاك رأس المال، وسيلاحظ القراء المتمرسون أن الجدول

2-1 يحسب ضريبة الشركة على النتائج السنوية للتدفق النقدي، مع عدم وجود ضريبة إذا كانت النتيجة سلبية وضريبة إذا كانت النتيجة إيجابية . لكن يتم استهلاك المصاريف الرأسمالية بعامة بدلاً من تضمين الإنفاق في نتائج السنة التي يتم إنفاقها فيها، ويتم توزيع المبلغ على مدى عمر المشروع . كيفية نشرها هي مجال اللوائح الضريبية والطريقة التي يفسرها متخصصو الضرائب في الشركة، وللحفاظ على مثالنا بسيطًا فإننا سنفترض أن الحكومة التي نحفر فيها بئرنا تخضع للضريبة بالكامل على أساس التدفق النقدي في وقت واحد (المثال المذكور بالفعل)، ولكن بعد ذلك تم تغييرها للسماح باستهلاك النفقات الرأسمالية بما يتناسب مع المبلغ من النفط المنتج. يظهر تمويل المشروع المنقح لهذه السياسة الجديدة في الجدول 2-2. فمن المهم أن نلاحظ أن التعقيد الإضافي للجدول 2-2 يتعلق فقط بالمعالجة المحاسبية للنفقات المختلفة - المبالغ الحقيقية التي تم إنفاقها واستلامها هي نفسها. إن هذه التغييرات التي تغير فقط توقيت الدخل والمصروفات في النموذج تؤدي إلى مقاييس مختلفة للمشروع بشكل كبير، دون تغيير النقد المنفق (باستثناء مدفوعات الضرائب) أو النقد المستلم، وببساطة عن طريق تغيير قواعد الإندثار لاستثمار رأس المال في نموذجنا فإن معدل العائد الداخلي يزيد من 13% إلى 78% ؛ وأن صافي القيمة الحالية يزداد بنسبة 3 % فهو يزداد من 4.4 مليون دولار إلى 6.5 مليون دولار والنتيجة النقدية البسيطة simple cash result تزداد من 6.7 مليون دولار إلى 7.9 مليون دولار.

	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7	Year 8	Year 9	Year 10	Year 11	Year 12	Year 13	Year 14	Year 15	Totals
Revenue																
Oil (bbls per day)			250	219	191	167	147	128	112	98	86	75	66	58	50	
Price/bbl	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
Sales revenue	0	0	21,60,000	59,13,000	51,84,000	45,09,000	39,69,000	34,56,000	30,24,000	26,46,000	23,22,000	20,25,000	17,82,000	15,66,000	13,50,000	3,99,06,000
Expenses																
Predrilling	5,00,000	10,00,000														
Drilling		50,00,000														
Completion			7,50,000		10,00,000											
Total capex	5,00,000	60,00,000	7,50,000	0	10,00,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82,50,000
Royalty			3,24,000	8,86,950	7,77,600	6,76,350	5,95,350	5,18,400	4,53,600	3,96,900	3,48,300	3,03,750	2,67,300	2,34,900	2,02,500	59,85,900
Operating costs	5,00,000	5,00,000	7,16,000	10,91,300	10,18,400	9,50,900	8,96,900	8,45,600	8,02,400	7,64,600	7,32,200	7,02,500	6,78,200	6,56,600	6,35,000	1,14,90,600
Severence tax			2,16,000	5,91,300	5,81,400	4,50,900	3,96,900	3,45,600	3,02,400	2,64,600	2,32,200	2,02,500	1,78,200	1,56,600	1,35,000	39,90,600
Total opex	5,00,000	5,00,000	12,56,000	25,69,550	23,77,400	20,78,150	18,89,150	17,09,600	15,58,400	14,26,100	13,12,700	12,08,750	11,23,700	10,48,100	9,72,500	2,15,30,100
Total expenses	10,00,000	65,00,000	20,06,000	25,69,550	33,77,400	20,78,150	18,89,150	17,09,600	15,58,400	14,26,100	13,12,700	12,08,750	11,23,700	10,48,100	9,72,500	2,97,80,100
Results																
Operating results	−5,00,000	−5,00,000	9,04,000	33,43,450	28,06,600	24,30,850	20,79,850	17,46,400	14,65,600	12,19,900	10,09,300	8,16,250	6,58,300	5,17,900	3,77,500	1,83,75,900
Depreciation[a]	0	0	4,46,549	12,22,429	10,71,719	9,32,172	8,20,535	7,14,479	6,25,169	5,47,023	4,80,041	4,18,640	3,68,403	3,23,748	2,79,093	82,50,000
Profit before tax	−5,00,000	−5,00,000	4,57,451	21,21,021	17,34,881	14,98,678	12,59,315	10,31,921	8,40,431	6,72,877	5,29,259	3,97,610	2,89,897	1,94,152	98,407	1,01,25,900
Taxes (20% of profit)	0	0	91,490	4,24,204	3,46,976	2,99,736	2,51,863	2,06,384	1,68,086	1,34,575	1,05,852	79,522	57,979	38,830	19,681	22,25,180
Profit after tax	−5,00,000	−5,00,000	3,65,960	16,96,817	13,87,905	11,98,943	10,07,452	8,25,537	6,72,345	5,38,302	4,23,408	3,18,088	2,31,917	1,55,321	78,725	79,00,720
Metrics																
NPV @ 3%	−5,00,000	−4,85,437	3,44,953	15,52,828	12,33,136	10,34,218	8,43,726	6,71,237	5,30,755	4,12,563	3,15,055	2,29,794	1,62,662	1,05,766	52,047	65,03,302
IRR	70.5%															

[a]This is oversimplified, as the portion of the capital expense for installing the pump is included in the depreciation for the years before it is installed

الجدول 2-2 : نموذج اقتصادي أكثر تعقيدًا قليلاً لحقل نفط يتكون من بئر واحدة

هناك سببان أساسيان للتغييرات المهمة في نموذجنا، الأول هو أن حسابنا الضريبي البسيط يتم عاماً بعد عام، وعندما كنا نستثمر معظم رأس المال في العامين الأول والثاني فإنه لم يكن هناك إيرادات، ومن ثم فإنه لم يكن هناك تخفيض في الضرائب على هذه النفقات . ينتج عن الدخل السلبي أي الخسارة في العامين الأول والثاني ضريبة صفرية لتلك السنوات، دون تراكم أي مزايا ضريبية في السنوات اللاحقة؛ ثم في السنوات اللاحقة تم فرض ضرائب على الإيرادات بالكامل، ومن خلال أخذ الاستهلاك بما يتناسب مع النفط المنتج فإننا نقوم بتحويل المصروفات الرأسمالية بشكل فعال إلى السنوات اللاحقة في الحسابات . إن الضريبة لا تتغير في السنوات الأولى (فهي ما زالت صفرية) ولكنه يتم تخفيض الضريبة في السنوات اللاحقة. وهذا ما يفسر الزيادة في النتيجة البسيطة بعد خصم الضرائب. يتعلق السبب الثاني بالقيمة الحالية وأن نتائج معدل العائد الداخلي هي أيضاً تأثير لاختلافات التوقيت، وبالنسبة لهذه الأرقام فإن القضية الأساسية هي أن الدولار في الغد يختلف عن الدولار في هذا اليوم، إذ يمكن استثمار الدولار اليوم بالفائدة ليعطي أكثر من دولار غداً؛ وبالنظر إلى الاتجاه الآخر فإن الأمر يستغرق أقل قليلاً من دولار اليوم للحصول على دولار غداً بافتراض دفع الفائدة، وأن المبلغ الذي يجب استثماره اليوم من أجل الحصول على دولار واحد في المستقبل يعتمد على طول الوقت؛ والمبلغ اليوم هو أقل بالنسبة لاستثمار لمدة 50 عاماً مقارنة باستثمار لمدة 5 سنوات، وكما يقول رجال المال أن «المال القريب هو المال العزيز» near money is dear money.

لا تتضمن جميع النماذج المالية تقديرات هندسية للتكاليف فحسب، بل تتضمن أيضاً عدداً من الافتراضات حول السياسة والبيئات المالية، وأن السياسات الحكومية فيما يتعلق بالمعاملة الضريبية هي ليست سوى مجال سياسة واحد يمكن أن يُحدث فرقاً، وبالمثل فإن التغييرات في السياسة فيما يتعلق بإجراءات التشغيل المختلفة يمكن أن تغير كلاً من تقديرات التكلفة والجوانب الأخرى للنموذج . كما رأينا فإنه من المحتمل أن تؤدي تغييرات

السياسة هذه إلى تغييرات كبيرة في مقاييس النموذج المالي، ولا يهم ما إذا كانت السياسة هي قواعد الاستهلاك أو معدلات الضرائب أو السياسات أو اللوائح أو الإعانات أو أي شيء آخر، وأنه يمكن أن يكون التأثير في العائدات المالية للمشروع كبيراً، فغالباً ما تكون هذه التغييرات في السياسة نتيجة للإجراءات الحكومية، وهذا يقدم بعداً آخر للمخاطر وهو المخاطر السياسية، إذ يمكن للحكومة الحالية «تغيير القواعد» من خلال فرض ضرائب جديدة، وتغيير الدعم، وتغيير اللوائح وما إلى ذلك . إن أحد المجالات الرئيسة التي تهم شركات النفط والغاز هي اللوائح الخاصة بتشغيل النفط والغاز: من مثل كيفية التخلص من المياه التي يتم إنتاجها جنباً إلى جنب مع النفط والغاز الطبيعي، وما الذي يجب القيام به عند وجود بئر تم أخيراً توصيلها وتركها، وما هو وزن الشاحنات المسموح به على الطرق ومجموعة من المشاكل الأخرى، وأن المخاطر السياسية الإضافية في التغييرات الحكومية (خاصة في البلدان التي ليس لها تاريخ طويل من الحكومات المستقرة) وفي بعض مناطق العالم يمكن أن تتمثل بالصراع المسلح.

9-2: اعتبارات مالية إضافية

توضح الموارد المالية لآفاق النفط ذات البئر الواحدة مقاييس مهمة تستخدمها شركات النفط في تقييم مشاريعها وبرامجها بشكل عام، وبالطبع فإنه لا شيء يعمل بالضبط كما هو مخطط له، فجميع علماء جيولوجيا النفط على دراية بـ «النجاحات التقنية»، إذ كان مفهوم الاستكشاف أساساً وكما هو متوقع هو النفط الموجود في البئر، لكن البعض من التفاصيل تعني أنه لا يمكن إنتاج النفط اقتصادياً، في حين أن الجيولوجي قد يعتبر البئر ناجحة، لكن كان هذا بالنسبة للمحاسب ليس سوى «حفرة جافة» dry hole .

بالنسبة لشركة تعمل في مجال النفط، سيكون هناك دائماً عدد من الاحتمالات قيد التقييم، يتمثل نشاط الشركة في إنتاج النفط وبيعه، ومن أجل الاستمرار في العمل فإنه يجب أن تستمر في البحث عن بدائل للكم

الذي تنتجه حالياً، إن العملية مستمرة، إذ أن المشاريع التي لديها أفضل الآفاق المالية هي المشاريع التي ستستثمر فيها الشركة أموالها.

لقد نظر تحليلنا حتى الآن في العثور على النفط وإنتاجه، ولكن هناك أيضاً سؤال حول متى يصل البئر أو المشروع إلى نهاية عمره، ومن نموذجنا فإنه يمكن للمرء أن يخمن أن المشروع سيتوقف عندما يتوقف عن تحقيق ربح للمنتج، ونظراً لأن التكاليف الرأسمالية تكون في المقام الأول في بداية المشروع، ولأن كمية النفط المنتج على مدار السنوات تنخفض فإنه ستأتي نقطة لا يتم فيها تغطية تكاليف التشغيل من خلال الإيرادات التي يتم تلقيها، وفي هذه المرحلة سيؤدي الاستمرار في إنتاج النفط من البئر إلى خسائر للشركة . لسد البئر والتخلي عنها فإن هناك البعض من التكاليف يتم تحملها لمرة واحدة تماماً كما هو الحال بالنسبة لبدء المشروع، إذ يمكن صياغة هذه النماذج واتخاذ القرارات بالطريقة نفسها تماماً من مثل بداية المشروع، وينتج عن مسار العمل هذا أفضل عوائد مالية للشركة، ولكن على العكس من البئر الجديدة فإنه يجب تغطية تكاليف هذه العملية من النفط أو الغاز الذي تم إنتاجه بالفعل.

هناك نقطتان مهمتان يجب توضيحهما حول تحليل نهاية العمر هذا، الأول: هو أن القرار سيتخذ في سياقه، فعلى سبيل المثال سيتم تحليل مشروع خارجي على أساس منصة الإنتاج بأكملها، وليس على أساس بئر واحدة فحسب، إن المنصات البحرية مُكلفة في التشغيل والصيانة، ومن الواضح أن قرار إيقاف تشغيل المنصة والتخلي عنها يجب أن ينطبق على جميع الآبار الموجودة على تلك المنصة . إن بعض من المشاريع البرية لديها القيود نفسها المتعلقة بالبنية التحتية، ومن ثم فقد أصبحت تكاليف تشغيل خط أنابيب ألاسكا Alaska عاملاً عند النظر في تكاليف الاستمرار في إنتاج النفط من نورث سلوب North Slope في ألاسكا.

إن النقطة الثانية لنهاية عمر البئر هي: أنه مثلما يمكن شراء المشاريع وبيعها في بداية حياتها فإنه يمكن أن يحدث هذا أيضاً مع اقترابها من نهايتها،

لا سيما مع الآبار البرية الصغيرة في الولايات المتحدة الأمريكية، فإن الشركة التي بدأت بالبئر غالباً لا تكون الشركة التي تنتهي بها، وفي أي وقت خلال تاريخ إنتاج من مثل هذه البئر، فإنه يمكن استخدام الإنتاج والإيرادات والتكاليف المتوقعة في المستقبل لحساب مقاييس المشروع من هذا الوقت فصاعداً . في كثير من الأحيان يكون للمشغل الأصغر تكاليف عامة أقل، ومن ثم فإنه قد يكون قادراً على العمل بشكل مربح لفترة أطول من شركة أكبر، وهناك مخاطر بيئية هنا ومع انخفاض حجم الإنتاج فإنه قد يتم بيع البئر على التوالي لشركات أصغر لديها تكاليف تشغيل أقل، حتى يتم بيع البئر في النهاية إلى شركة تم إنشاؤها فقط لشراء هذه البئر وإنتاجها حتى يتم استرداد سعر الشراء، ثم إعلان الإفلاس والابتعاد من دون إيقاف تشغيل المنشأة بشكل صحيح، وأن هذا يمكن أن يساعد التنظيم ولكنه من غير المرجح أن يحل تماماً من مثل هذه المشاكل.

10-2: دمج المشاريع المستقبلية في البرامج

يعتمد النجاح المالي لشركة النفط أو الغاز على ما هو أكثر من النجاح المالي لمشروع محتمل واحد، وفي الواقع فإن الإحصائيات تشير إلى أن آبار الاستكشاف الأمريكية حققت نجاحاً بنسبة 50% فحسب (Petrostrategies 2012)، وأن هذا الرقم أفضل بكثير من نسبة نجاح الاستكشاف في السبعينيات والثمانينيات التي كانت أقل من 25% (Alfaro et al. 2007) ؛ وفي هذا السياق فإن معدلات النجاح المرتفعة ترجع في المقام الأول إلى التقدم في قدرة معالجة البيانات . لقد كان معدل نجاح الاستكشاف أقل بعامة في خارج الولايات المتحدة الأمريكية وذلك على الرغم من أن الحقول قد تكون أكبر، إن الحكمة في صناعة النفط هي أن الجيولوجيين يجب أن يكون لديهم جلود سميكة للغاية، وذلك لأن العديد من توصياتهم ينتهي بها المطاف كثقوب جافة.

لكن معدل النجاح الأعلى للولايات المتحدة لا يعني العثور على المزيد من النفط، ففي عام 2012 في الولايات المتحدة الأمريكية كانت كمية النفط المكتشفة هي 3 مليار برميل، في حين كانت الكمية في جميع أنحاء العالم هي

28 مليار برميل، وذلك على الرغم من وجود عدد أقل من الآبار التي تم حفرها في خارج الولايات المتحدة (BP 2014) . إن الاستنتاج هو أن الاكتشافات الأمريكية في المتوسط كانت أصغر بكثير من الاكتشافات الدولية، لكن تذكر أن هدف الشركة ليس هو حفر الآبار التي تنتج كميات كبيرة، ولكن بالأحرى هو حفر الآبار التي تدر الأموال من خلال إنتاج النفط سواء أكان ذلك بكميات صغيرة أم بكميات كبيرة، ومن ثم فإن نجاح العثور على النفط بواسطة بئر هو جزء واحد فحسب من النتيجة بالنسبة للشركة، وستخضع الصورة الإجمالية للتحليل الاقتصادي لتكاليف استغلال الموارد المكتشفة والإيرادات المتوقعة.

11-2: البحث عن النفط - عمل محفوف بالمخاطر

يعتبر التنقيب عن النفط أو الغاز الطبيعي في بعض الأحيان عملاً محفوفاً بالمخاطر، لكن خلال القرن الماضي فإن الأمر لم يكن بهذه الخطورة من وجهة نظر إحصائية، فصناعة التأمين وصناعة الألعاب (بما فيها القمار وصناعة المراهنات) هي في جوهرها الأعمال نفسها، فكلاهما يكسب المال من خلال فهم مخاطر إجراء معين ووضع سعر على نتيجة معينة، وأن ما يجعل كلاهما مربحاً هو أن ملف تعريف المخاطر هو ملف معروف . من الجداول الاكتوارية أو من الرهانات التي تحدد الاحتمالات، فإنه بإمكان الشركة حساب مخاطر الاضطرار إلى إجراء دفعة ومن ثم تحديد سعر خدمتها وهذه تُعد مخاطرة، وفي حال المخاطرة فإنه قد تكون نتيجة حدث معين غير معروف، ولكن نظراً لإمكانية تحديد التنبؤ كمياً فإنه يمكن وضع سعر على المخاطرة، إن التنقيب عن النفط والغاز التقليدي كان مهمة محفوفة بالمخاطر.

إن عدم اليقين هو نوع مختلف من الأشياء، ففي الكلمات الشهيرة لدونالد رامسفيلد Donald Rumsfeld قال عنه بأنه هذا هو «المجهول المجهول» (Rumsfeld, 2002)، أو كما عبر عن ذلك لورانس بيتر Laurence Peter من خلال ما يعرف بـ مبدأ بيتر: "إن البعض من المشاكل هي معقدة للغاية بحيث

يجب أن تكون ذكياً للغاية ومطلعاً جيداً لمجرد عدم اتخاذ قرار بشأنها»[1]، ولا توجد طريقة للتنبؤ بفرصة النجاح لأنه لم يتم فهم معلمات الموقف بشكل كافٍ لتكون قادراً على إجراء من مثل هذا التنبؤ، وأن هذا التمييز بين المخاطرة وعدم اليقين وآثاره في التمويل وصفه نايت Knight في عام 1921 فيما أصبح يعرف لاحقاً بأنه اقتصادياً كلاسيكياً[2].

بالنظر إلى أن التنقيب عن النفط هو عمل محفوف بالمخاطر ولكنه ليس عملاً غير مؤكداً، فإن إنشاء برنامج استكشاف ناجح مالياً يعتمد على تطبيق تعديلات المخاطر المناسبة على النموذج المالي أو النماذج المستخدمة، وعلى مستوى البرنامج فإن عبارة «لا تضع كل بيضك في سلة واحدة» تعتبر صالحة تماماً من مثل محفظة الاستثمار. يمتلك محترفو إدارة المحافظ مكتبة كاملة من الأساليب المستخدمة لتصميم محفظة متوازنة بشكل جيد، لكنهم نادراً ما يناقشون الحالة التي تتطلب شطب نسبة عالية إلى حد ما من الاستثمارات التي تم إجراؤها بالكامل، وهذا هو الحال بالنسبة للتنقيب التقليدي عن النفط والغاز، فعندما تكون بئر الاستكشاف حفرة جافة فإنه يكون الاستثمار فيها هباءً، إن الاستنتاج الواضح هو أن المشاريع الناجحة يجب أن تكون ناجحة للغاية للتعويض عن الثقوب الجافة التي لا مفر منها.

12-2: خراب المقامر - خطر الفشل

من الناحية الحسابية فإن أحد الحسابات الأساسية للشركة هو كيفية تجنب «خراب المقامر»، وهذا هو الموقف الذي ينفد فيه مال الشخص أو الشركة الذي يراهن على مخاطر معروفة قبل أن توفر المخاطر المعروفة العائد المتوقع، ولتوضيح هذه النقطة فإنه في منطقة حدودية إذا قدرنا أن معدل نجاح بئر التنقيب عن النفط هو 15%، فهذا يعني أن لدينا خطر فشل بنسبة 85%. فإذا كان لدينا 50 مليون دولار للاستثمار في المنطقة وتكلفة كل بئر 7.0

---

(1) مقتبس من Mainelli and Harris (2011) p. 2..

(2) إن عدم اليقين كان موضوعاً رئيسياً في الوقت الذي كان نايت Knight يطور أفكاره، كما أن كتابه يسبق مبدأ عدم اليقين المعروف لهيزنبرغ Heisenberg في الفيزياء بستة أعوام.

مليون دولار، فإنه يمكننا حينئذٍ حفر سبعة آبار قبل نفاد الأموال، ومن ثم فإن مخاطرتنا الحسابية المتمثلة في نفاد الأموال دون نجاح هي:

خطر الفشل الكامل=$(0.85\%)^7 = 0.85^7 = 0.32 = 32\%$

لكن مع ذلك فإنه إذا وجدنا شركة أخرى لديها أيضاً 50 مليون دولار للاستثمار في الاستكشاف، فإنه يمكننا معاً تحمل تكاليف حفر 14 بئراً وأن مخاطر الفشل الكلي لدينا هي:

خطر الفشل الكامل=$(0.85\%)^{14} = 0.85^{14} = 0.10 = 10\%$

للنظر إلى الأمر بطريقة أخرى، فإن الاهتمام الجزئي بمزيد من الآبار سيقلل بشكل كبير من فرصة إفلاسنا قبل أن نجد أي نفط، وهذا يفسر سبب مشاركة العديد من مشاريع التنقيب والتطوير الضخمة بين شركات النفط . إن حقل نفط كاشاجان Kashagan العملاق في الجزء الكازاخستاني من بحر قزوين، الذي تتراوح كلفته التقديرية من 46 مليار دولار إلى 116 مليار دولار (Demytrie 2012;Hargreaves 2012)، كان لديه ما لا يقل عن ثماني شركات نفط كبيرة تشارك في التنقيب والتطوير في وقت واحد أو آخر، وكما هو الحال مع ترتيبات التأجير الفردية التي تمت مناقشتها سابقاً فيما يتعلق بحقوق الملكية، فإن مجموعة الترتيبات والمشاريع المشتركة وعمليات الشراء ومساهمات الحفر الجافة وما إلى ذلك التي تستخدمها الشركات لموازنة المخاطر في من مثل هذه المشاريع المشتركة لا حصر لها في تنوعها [1].

تتطلب مشاركة برنامج استكشاف مع شركة أخرى أن يكون النموذج المالي الذي تم تطويره في الفصل الأخير مختلفاً بالطبع، إذ لن يعرض فقط جزءاً من التكاليف لأنه سيتم تقسيمها، ولكنه سيعرض أيضاً حصة الشركة من الإيرادات فقط . فضلاً عن ذلك فإن نقطة البداية لنموذجنا هي - بالنسبة للبرامج بأكملها ستبدأ الشركة ببساطة بإضافة جميع الإيرادات والنفقات

(1) للحصول على تفاصيل حول الطرائق العديدة التي يمكن لشركة النفط من خلالها توزيع مخاطرها ، انظر في (Quick and Buck 1983).

معاً، والتوصل إلى تحليل مالي مشترك، ومن ثم فإنه يمكن للمرء التحدث عن معدل العائد الداخلي IRR أو صافي القيمة الحالية NPV للبرنامج بأكمله بنسبة 10 % أو أي شيء آخر.

ولكن لمجرد الجمع بين المزيد من المشاريع المستقبلية المحتملة معاً فإنه يفترض أن لكلٍ منهم فرصة النجاح نفسها، وفي الواقع فإنه قد يكون لدينا بعض الاحتمالات التي نعتقد أن لديها فرصة 50% للنجاح وأخرى لديها فرصة 40% وهكذا دواليك. يعتمد الجمع بين هذه على مفهوم القيمة المتوقعة الذي طوره العالم وعالم الرياضيات الفرنسي في القرن السابع عشر بليز باسكال Blaise Pascal . لقد طور باسكال النهج الأساسي من أجل فهم أفضل لوقت وضع الرهانات عند المقامرة (Ore 1960)، إنه مفهوم بسيط: اضرب النتيجة بفرصة حدوثها للحصول على القيمة المتوقعة، إذ يمكن دمج القيمة المتوقعة من نموذجنا المالي مع القيمة المتوقعة من التوقعات الأخرى لإعطاء النتيجة الإجمالية المتوقعة.

يمكن أيضاً تطبيق المفهوم نفسه في داخل النموذج المالي لمشروع واحد، ومن ثم قد يطبق المرء فرصاً مختلفة على أسعار النفط ومعدلات الإنتاج وتكاليف التشغيل وربما لمجموعة من المخاطر الأخرى في داخل البرنامج، وأن استخدام أجهزة الكمبيوتر لاختبار مجموعة متنوعة من الخيارات بسرعة أصبح ضرورة.

13-2: اختيار المشاريع

إن المهم أن تقوم إدارة الشركة باختيار المشاريع والبرامج التي ستوافر أفضل عوائد مالية للمساهمين، ونظراً لأن ميزانية الاستكشاف يتم إنشاؤها من المشاريع المستقبلية الفردية إلى البرنامج بأكمله، فإنه سيتم اتخاذ القرارات بناءً على مزيج من إمكانات مشاريع مستقبلية محددة بالإضافة إلى مدى ملاءمة المشروع المستقبلي المحتمل والمحدد في البرنامج الإجمالي.

يؤدي هذا التحليل التصاعدي إلى انحراف الشركة نحو اتخاذ مجموعة من قرارات الاستثمار «كالمعتاد»، ولطالما أن هناك مشاريع مستقبلية محتملة

ومشاريع متاحة فإن العائد المالي لها يكون إيجابياً، فهذا هو المكان الذي من المرجح أن تستثمر فيه الشركة أموالها، ونظراً لأن المشروع يتنافس مع اختيار الإدارة، فسيحاول الأفراد الذين يعملون في مشاريع محددة «بيع» أفضل مشاريعهم في هذه العملية الداخلية . وفي الواقع فإنه كثيراً ما تعتمد المهن على القيام بذلك وبنجاح، وفي كل مرة يتم فيها عرض مشروع للمراجعة ضمن عملية اتخاذ القرار الإداري، فإنه يكون قد حصل على الدعم من الأفراد الذين عملوا عليه ويعتقدون أنه يستحق استثمار الشركة، وفي شركة كبيرة يتكرر من مثل هذا التأثير إذ تتنافس المكاتب الإقليمية المختلفة مع بعضها البعض لتمويل محافظ المشاريع الخاصة بها، وفي شركات النفط المتكاملة فإنه يجب أن يتنافس قسم الاستكشاف مع قسم التكرير وقسم التسويق، وذلك لأنه على مستوى الشركة يوجد حد لمقدار رأس المال المتاح.

إن نصوص الإدارة وبرامج ماجستير إدارة الأعمال ودورات الإدارة توجد لتعليم طرائق الجمع بين التوقعات الستراتيجية طويلة الأجل وعملية وضع الميزانية، إن معظم شركات النفط الكبرى هي متكاملة، أي أنها لا تقوم فقط باستكشاف النفط والغاز وإنتاجهما، بل تقوم أيضاً بشحنهما وتكريرهما وبيعهما . هناك قصة قابلة للتصديق ولكن لم يتم التحقق منها مفادها أن مجلس إدارة شركة نفط كبرى كان يعقد اجتماعاً لمدة يومين في تشرين الأول (أكتوبر) من كل شهر، إذ تم تحديد الميزانية بما في ذلك الميزانية الرأسمالية للعام المقبل . لقد عمل كل قسم من أقسام الشركة - الطلبات الكبيرة للحصول على رأس المال من قسم الاستكشاف والإنتاج وقسم التكرير وقسم التسويق - طويلاً وبجد على عروضهم التقديمية لمجلس الإدارة، والتحقق من أرقامهم والاعتقاد بأن مقترحاتهم ستكون مفيدة، وهناك فائدة كبيرة للتطور المالي والستراتيجي الشامل للشركة. لذلك فإنه على مر السنين كانوا قد أمضوا المزيد والمزيد من الوقت والجهد في هذه العروض التقديمية، وبعد ذلك كان أحد أعضاء مجلس الإدارة الخارجيين قد اكتشف في إحدى السنوات أن كل

قسم يستعين بوكالات إعلانية بتكلفة ملايين الدولارات للمساعدة في تقديم عروض مبيعاتهم.

سواء أكان هذا الأمر صحيحًا أم لا، فإن الحكاية قابلة للتصديق وذلك لأن أولئك الذين يعملون في داخل الشركة يركزون على وظائفهم المحددة، إذ يوجد مكتب تنقيب تابع لشركة نفط للتنقيب عن النفط والعثور عليه؛ فعندما يكون لدى المرء مطرقة لكل شيء يبدو ذلك الشيء وكأنه مسمار. ومن ثم سيركز المكتب على البحث عن النفط وما يرتبط به من تخطيط للتنقيب عن اكتشافات النفط والغاز وتطويرها؛ وقد يعود الموظفون في هذا المكتب إلى منازلهم للقلق بشأن الطاقة البديلة أو تغير المناخ، لكن وظيفتهم اليومية هي العثور على أفضل احتمالات لتواجد النفط والغاز والترويج لها، وهذا الوصف لعملية صنع القرار يشرح لماذا تميل جميع الصناعات وليست صناعة النفط فحسب إلى اتباع مسار «العمل كالمعتاد»"business as usual".

هناك جدل كبير في داخل صناعة النفط وخارجها حول عدد المشاريع المستقبلية المحتملة الجيدة التي لا تزال متاحة، وكما سنرى في الفصل الرابع فإننا نعيش على أرض محدودة، وفي مرحلة ما يجب أن ينتهي عرض المشاريع المستقبلية الجيدة، لكن تاريخ الصناعة مليء بالتوقعات الرهيبة التي لم تتحقق، وتتشكل وجهة نظر صناعة النفط اليوم إلى حد كبير من خلال الفترة منذ عام 1945، وتنسى أن العالم كان «ينفد من النفط» من قبل، حتى في الفترة منذ عام 1945 فقد أثار عقد السبعينيات مخاوف من أن النفط لن يكون وفيراً مرة أخرى أبداً فقط لعشرين عاماً قادمة من الوفرة أي من عام 1985 إلى عام 2005 [1]. لقد أثار ارتفاع أسعار النفط الذي ميز الصناعة من 2005 حتى 2014 مرة أخرى مسألة ما هي المصادر البديلة للنفط، وعلى نطاق أوسع للطاقة المتاحة، وفي كل منعطف تبدو هذه البدائل باهظة الثمن على الرغم من أن السعي وراءها كان قد أدى على الأقل إلى زيادة مؤقتة في المعروض من النفط وانهيار في الأسعار، لكن التحليلات المالية تظهر عدداً أقل من المشاريع المستقبلية

(1) تاريخان مثيران للاهتمام لصناعة النفط هما (Sampson 1975) و (Yergin 1991).

المحتملة الجيدة التي لديها القدرة على استبدال إنتاج النفط على المدى الطويل، لذلك فإنه بعد رفض الاستثمارات البديلة بعيدة المنال فإن العديد من شركات النفط تتجه الآن إلى توفير النفط من مصادر «غير تقليدية»، وذلك على الرغم من أن «غير التقليدية» في هذا السياق وكما لاحظ بيرمان Berman في عام 2015 هي في الأساس مرادف لكلمة «باهظة الثمن».

من الفكرة الأولية للقيام بالمشروع المستقبلي إلى التخلي عنه فإنه يتم تنفيذ آبار النفط والمشاريع على أساس المكافآت المالية للشركة، وفي كل نقطة على طول الطريق فإنه يتم اتخاذ القرارات من خلال وضع أفضل التوقعات الممكنة للإيرادات والمصروفات ثم مقارنة الفرص . لا يمكن لأي شركة أو حتى أية دولة أن تدوم طويلاً إذا كانت قراراتها غير صحيحة باستمرار، وهو ما يفسر سبب كون «العمل كالمعتاد» هو التطور الطبيعي للاقتصاد، لكن هذا التطور ليس واضحاً دائماً - فالشركات من أي حجم تبحث في مشاريع متعددة، مما يجعل توقعات كل شركة على مستوى الشركة مزيجاً معقداً من القطع الفردية.

الفَصْلُ الثَّالِث

البعض من أساسيات جيولوجيا البترول

إن الوقود الأحفوري هو بقايا النباتات والحيوانات، وبإعادة تدوير الطبيعة الأم فإن العديد من الكائنات الحية تصبح غذاء لكائنات أخرى، إذ تصبح النباتات غذاءً للحيوانات العاشبة التي تصبح فيما بعد غذاءً للحيوانات آكلة اللحوم، وأن ما لا تأكله الكائنات الحية الكبيرة تأكله أشياء أصغر من مثل اليرقات والديدان وما إلى ذلك، التي بدورها تتحلل بواسطة البكتيريا، وخلال هذه الدورة فإن هناك تدفقاً للطاقة، ويتم التقاط كل طاقة الحياة تقريباً بواسطة النباتات من ضوء الشمس وتخزينها كروابط كيميائية بين الكربون والهيدروجين والأوكسجين، ومثال على رد الفعل الأساسي هو:

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{sunlight energy} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

إذ يقوم ثاني أوكسيد الكربون والماء وأشعة الشمس بإنتاج السكر والأوكسجين الحر، وهذا هو ما يسمى بـ التمثيل الضوئي، وعندما يكون السكر ضرورياً لطاقته فإنه يمكن عكس التفاعل عن طريق التنفس أو أي شكل آخر من أشكال الأكسدة:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{energy}$$

تُظهر هذه المعادلات الكيميائية الأساسيات فحسب، بينما توفر الدراسة التفصيلية العديد من المتغيرات لكائنات مختلفة، إن استخدام سكريات مختلفة والعديد من الكربوهيدرات الأخرى ينتج عنه منتجات نهائية مختلفة، على سبيل المثال وبدلاً من خمائر التنفس تستخدم الطاقة المخزنة عن طريق تحويل السكر إلى كحول وثاني أوكسيد الكربون عن طريق التخمير، وهو تفاعل يطلق طاقة

أقل لكل وحدة من الكربوهيدرات مقارنةً بالتنفس[1]. إن النقطة المهمة هي أن الطاقة من ضوء الشمس يتم تخزينها في الروابط الكيميائية للجزيئات العضوية ثم يتم إطلاقها مرة أخرى، يحدث هذا بشكل عام على سطح الأرض أو على الأقل بالقرب منه، وأن معظم المواد العضوية المتكونة من طاقة الشمس يتم إعادة تدويرها إما بشكل مباشر أو غير مباشر، ولكن يتم دفن كمية صغيرة، وإذا سارت الأمور على ما يرام فإنه يمكن أن تتحول هذه المادة المدفونة إلى وقود أحفوري. أو كما يطلق عليه أحياناً بتسمية أشعة الشمس الأحفورية.

استطرادية قصيرة: البعض من كيمياء الكربون البسيطة

يمكن أن تُشكل ذرات الكربون أنواعاً مختلفة من الروابط الكيميائية، مما ينتج عنها مواد مختلفة، وفي إطار ثلاثي الأبعاد حيث ترتبط كل ذرة كربون بأربعة ذرات كربون أخرى في ترتيب رباعي السطوح، وتكون المادة الناتجة هي الماس diamond . عندما ترتبط كل ذرة كربون بثلاث ذرات كربون أخرى فحسب، فإن النتيجة هي أن روابط الكربون تشكل مستوى ثنائي الأبعاد، مع قدرة كل مستوى على الانزلاق بسهولة بين المستويات المتماثلة أعلى وأسفل، وهو الجرافيت graphite.

إن الكربون المرتبط بالكربون في سلسلة مع كل الروابط الموجودة في النهايات والحواف المصنوعة من ذرات الهيدروجين يخلق هيدروكربونات الألكان البسيطة، وكما هو موضح في الجدول 3-1.

كلما طالت السلسلة كلما زادت نقطة الغليان.

تكون معظم الجزيئات العضوية في الكائنات الحية أكثر تعقيداً إلى حد كبير، إذ يتم ربط عشرات ومئات ذرات الكربون بالهيدروجين والأوكسجين والنيتروجين وكميات أصغر من العناصر الأخرى في العديد من التركيبات والهياكل المختلفة، ويتطلب تحويل هذه المادة من هيكلها الأصلي إلى هيكل وقود أحفوري وقتاً جيولوجياً إلى جانب كميات معتدلة

(1) ربما هذا هو السبب في أننا نتنفس (نسترد الانفاس) بدلًا من أن نتخمر.

من درجة الحرارة والضغط، وتعتبر الهيدروكربونات السائلة التي نطلق عليها الزيوت مرحلة وسيطة في هذا التحول من المركب إلى البسيط.

تأتي الطاقة من الوقود الأحفوري من خلال حرقه، وكيميائياً فإنها تجمع بين الكربون والهيدروجين والأوكسجين في الغلاف الجوي، إن كلا التفاعلين C + O2 و H + O2 يطلقان الطاقة، ولكن يجب أولاً كسر الروابط الكيميائية للمادة الأصلية ومن ثم فإن الطاقة الكلية للحرق هي مجموع الطاقة المنبعثة من المنتجات الجديدة مطروحاً منها الطاقة اللازمة لتفكيك المادة الأصلية . يطلق تفاعل H + O2 طاقة كبيرة، لذلك فإنه كلما زاد الهيدروجين بالنسبة للكربون في الوقود زادت الطاقة التي يوافرها الوقود. ومن ثم فإن نسبة الهيدروجين إلى الكربون (H:C) تعطي مؤشراً نسبياً لمدى نشاط الوقود الأحفوري، والغاز الطبيعي مع نسبة C: H4 هو وقود أكثر كثافة من الأوكتان بنسبة 18:8 = 2.25، أما الفحم الذي هو كربون وليس هيدروكربون له نسبة صفر، ولمزيد من المناقشة الكاملة والقابلة للقراءة حول كيمياء حرق الوقود الأحفوري انظر في Courtney (2006).

الجدول 3-1 : هيدروكرونات الألكان (أحادية السلسلة)

1-carbon أحادي الكربون	CH_4	Methane الميثان	H H—C—H H
2-carbons ثنائي الكربون	C_2H_6	Ethane الإيثان	H H H—C—C—H H H
3-carbons ثلاثي الكربون	C_3H_8	Propane البروبان	H H H H—C—C—C—H H H H
...			
8-carbons ثماني الكربون	C_8H_{18}	Octane الاوكتان	H H H H H H H H H—C—C—C—C—C—C—C—C—H H H H H H H H H
...			
10-carbons etc. عشر ذرات كربون	$C_{10}H_{22}$	Decane الديكان	H H H H H H H H H H H—C—C—C—C—C—C—C—C—C—C—H H H H H H H H H H H

من بين كمية المواد الصغيرة التي يتم دفنها فإن الشيء المهم هو عزلها عن الأوكسجين الموجود في الغلاف الجوي، فإذا كان هناك أوكسجين متاح فسوف تتحلل المادة بشكل عام وتصبح جزءاً من المحيط الحيوي المعاد تدويره، ولكن بالنسبة للجزء الصغير الذي يبقى معزولاً عن الأوكسجين في منطقة جيولوجية تستقبل الرواسب، فإن الرواسب الإضافية تدفن المادة أعمق وأعمق، وهذا يأخذ الكربون من الدورة وكلما تعمق المرء في الأرض زادت سخونة المكان، لذلك فإنه بالإضافة إلى الضغط عليها بوزن الرواسب الموجودة فوقها، تبدأ المادة العضوية في الطهي.

يختلف تكوين الفحم قليلاً عن تكوين النفط والغاز الطبيعي في هذه المرحلة، وهناك استثناءات لكن معظم الفحم مشتق من النباتات الأرضية، إن الهيكل المعقد والقوي لسليلوز النباتات ولا سيما السليلوز الذي يوفر الدعم الهيكلي يستمر في توفير القوة خلال المراحل الأولى من الدفن، فضلاً عن ذلك فإن معظم الفحم يأتي من المناطق التي لا يتم فيها تخفيف المادة العضوية كثيراً بالرواسب غير العضوية (أي أن بقايا النبات لا تختلط بالطين)، وعندما يتم دفن المادة النباتية فإنه يتم تجميع ذرات الكربون بشكل أقرب وأقرب، ومن المادة العضوية الأصلية تصبح الرواسب أولاً الخث peat، ثم الليغنيت lignite، ثم الفحم القاري bituminous coal، وأخيراً فحم الأنثراسايت الصلب hard anthracite coal الذي يقترب من أن يكون كربوناً نقياً.

1-3: النفط التقليدي والغاز الطبيعي

يتكون النفط والغاز الطبيعي في الغالب من نباتات وحيوانات بحرية وحيدة الخلية من مثل الطحالب البحرية والعوالق والطحالب النهرية، وهذه المواد العضوية لها هياكل عضوية مختلفة من السليلوز الذي يصبح فحم، وأن الأهم من ذلك هو أنه غالباً ما يتم دفنها مع قدر كبير من الطين غير العضوي، واعتماداً على تفاصيل المادة العضوية الأصلية والرواسب غير العضوية المحددة فإنه سيتم إعادة ترتيب هذه المادة العضوية من خلال زيادة درجة الحرارة والضغط إلى ترتيبات ذرية مختلفة . تنقسم المادة العضوية الناتجة إلى

مادتين صلبتين هما الكيروجين kerogen والبيتومين bitumen وهما تتميزان بما إذا كان يمكن إذابة المادة بواسطة مذيبات عضوية، وبعد تعرضهما إلى مزيد من الدفن مما يزيد من درجة الحرارة والضغط، فإن الكيروجين وبخاصة يواصل إعادة ترتيب الجزيئات، وبعامة ستتفكك السلاسل الجزيئية للكربون مما يؤدي إلى زيادة مرونة المادة، وهكذا فإنه مع زيادة درجة الحرارة مع زيادة عمق الدفن فإن السلسلة هي أولاً زيوت ثقيلة، ثم زيوت أخف سلسلة أقصر، وأخيراً غازات، إن السائل الأخير هو مجرد غاز ذرة كربون واحدة وهو الميثان، وبعد ذلك ينتج عن زيادة درجة الحرارة ترك ذرة الكربون فقط وهي الجرافيت التي لم تعد فيما بعد على أنها وقود أحفوري.

إن درجة الحرارة التي تعمل على مدار الزمن الجيولوجي تُعد مهمة، فغالباً ما يوجد الكربون الموجود في المادة العضوية في ترتيبات طويلة ومعقدة من الذرات التي تتكسر («متصدعة») مع درجة الحرارة، وأن البعض من المواد العضوية الأصلية تتحول إلى غاز مباشرة؛ وأن الأنواع الأخرى من المواد العضوية تصبح في البداية نفطاً، وكلما ارتفعت درجة الحرارة حدث المزيد من التكسر بين الأواصر الكيميائية، وبالنسبة للأنواع النفطية من المواد العضوية فإنه كلما أصبحت السلاسل أقصر فإن هذا سيؤدي إلى ظهور مفهوم «نافذة النفط» oil window، وهو العمق الذي يجب أن تُدفن فيه المادة العضوية لتحويلها إلى هيدروكربون سائل . عند درجة حرارة تتراوح بين 50 و 60 درجة مئوية وهو ما يتوافق مع عمق يتراوح بين 750 و 1000 متر، فإن الأنواع المناسبة من المواد العضوية ستشكل البترول السائل، وكلما كان الدفن أعمق كلما ارتفعت درجة الحرارة بعد ذلك، وأصبحت السلاسل أقصر حتى تصل إلى نحو 150 درجة مئوية، أو بين 4500 و 5000 متر تكون السلاسل غازية . بالنسبة لصناعة النفط تكمن الأهمية في أن المادة العضوية تحتاج إلى أن يتم تحويلها إلى وقود أحفوري من خلال مزيج من الضغط ودرجة الحرارة الذي يعمل على مدار الزمن الجيولوجي . تحدث هذه التفاعلات الكيميائية في الأعماق التي تعني أن الضغوط أعلى أيضاً وذلك بسبب وزن الرواسب الموجودة فوقها، لكن

الاختلافات في الضغط لها تأثير ضئيل نسبياً في النتيجة؛ وغالباً ما تكون تأثيرات درجة الحرارة والوقت مهمة في التحويل، وأنه يجب أن تكون هذه العوامل «صحيحة تماماً» - النوع الصحيح من المادة العضوية ودرجات حرارة تتراوح بين 50 و 150 درجة مئوية وعدة ملايين من السنين على الأقل لمعظم النفط، ويعتبر الغاز الطبيعي منتجاً نهائياً لعملية توليد النفط ويتم إنشاؤه أيضاً في جميع أنحاء نطاق درجة الحرارة مع البعض من أنواع المواد العضوية التي تنتج غاز الميثان أكثر من الأنواع الأخرى.

في التنقيب التقليدي عن النفط فإن هناك مطلبان إضافيان لإنشاء حقل نفط هما الهجرة migration والمصيدة trap، لقد كانت المواد العضوية المترسبة في الأصل عبارة عن صخور دقيقة الحبيبات؛ فإذا كانت في شكل مادة خشنة فإنه سيكون هناك ماء يدور من خلالها بالأوكسجين، وبمجرد أن الوقت الجيولوجي يُنضج المادة العضوية ببطء، فإن المزيد من الوقت الجيولوجي قد يتسبب في تسرب القليل من السائل ببطء إلى صخور أكثر مسامية . تسمى هذه الصخور المسامية المحتوية على النفط بـ المكمن reservoir، ولكن اعتماداً على الطريقة التي يتم بها توجيه طبقات الصخور فإنه قد يتسرب النفط ببساطة عبر هذه المكامن حتى يصل إلى السطح ويتأكسد، وهذا هو ما أدى إلى حدوث تسرب للنفط، ولقد عُرفت تسربات النفط منذ بداية التاريخ المسجل. عندما يتم حظر مسار تسرب النفط فإنه يتم إنشاء مصيدة trap، وحتى يتم إزالة الانسداد على سبيل المثال عن طريق التعرية بمرور الوقت الجيولوجي فإن النفط يتجمع هناك في الصخور الأكثر مسامية ونفاذية في انتظار اكتشافها، وهذا ما يفسر شعار جيولوجي النفط الكلاسيكي: المصدر والمكمن والمصيدة source, reservoir, trap، وعند النظر في احتمال نفطي مستقبلي prospect، وهذا ما سيسأله الجيولوجي: هل هناك مصدر جيد للصخور غني عضوياً كان موجوداً في نافذة النفط لإنتاج النفط ؟؛ وهل هناك صخر مكمن جيد هاجر إليه هذا النفط؟ وهل هناك مصيدة تجعل هذا تراكم اقتصادي يستحق الحفر؟

إن هجرة السوائل إلى التراكمات المحاصرة trapped accumulations هي تركيز جيولوجي لمورد الوقود الأحفوري، ويمكن أن تتنوع «الاحواض» و«الحقول» الناتجة من النفط والغاز الطبيعي في الحجم، ولكنها تشترك في الميزة المهمة المتمثلة في احتوائها على النفط والغاز الذي تم تركيزه في الموقع على مدى فترات طويلة جيولوجياً، ويطلق على هذه الحقول اسم حقول النفط أو الغاز «التقليدية»، التي كانت مصدراً أساسياً لكل النفط والغاز الطبيعي المنتجين حتى وقت جد قريب.

لم يكن معظم إنتاج النفط حتى الآن ناتجاً عن تراكمات النفط التقليدية هذه فحسب، بل كان أيضاً من التراكمات التفضيلية الأكبر.. وكما سنرى في الفصل الرابع فإن هذه الحقول الأكبر - المسماة «العمالقة» giants أو «الأفيال» elephants - تمثل غالبية موارد النفط وإنتاجه . وبعد أكثر من 150 عاماً من البحث عنها فقد تم استكشاف معظم الأماكن المحتملة جيولوجياً، لذلك فإنه إذا كان النفط والغاز الطبيعي سيظلان مكونين مهمين لإمدادات الطاقة لدينا، فإننا سوف نحتاج إلى اكتشاف واستغلال رواسب تقليدية أقل.

3-2: رحلة قصيرة عبر المصادر البديلة «غير التقليدية» للنفط

3-2-1: تراكمات النفط التقليدية «غير التقليدية»

غالباً ما يتم تضمين النفط غير التقليدي في الحقول الموجودة في المياه الجد عميقة وفي مناطق القطب الشمالي، وبخاصة في المحيط المتجمد الشمالي، إن التراكمات غير تقليدية هذه لأنها تنطوي على تكاليف باهظة فحسب، ومن الناحية الجيولوجية فهي أنواع تراكمات النفط نفسها التي تم استغلالها لأكثر من 150 عاماً مضت . على هذا النحو فإن المشاريع تخضع لأنواع المخاطر نفسها من مثل جميع مشاريع النفط التقليدية، وذلك مع ارتفاع التكاليف التي تُعَرِض مبالغ ضخمة من الاستثمار الرأسمالي للخطر . لقد تم الإبلاغ عن تكلفة بئر إكسون موبيل ExxonMobil الوحيدة في المحيط المتجمد الشمالي الروسي بمبلغ 700 مليون دولار[1]، فإذا نجحت من مثل هذه الآبار فإنها قد تغطي

(1) Arkhipov et al. (2014).

تكاليف عدداً من الحفر الجافة، ولكن هذا برنامج استكشاف لا يمكن إلا للشركات الكبيرة ذات الجيوب الأعمق deepest pockets من القيام به.

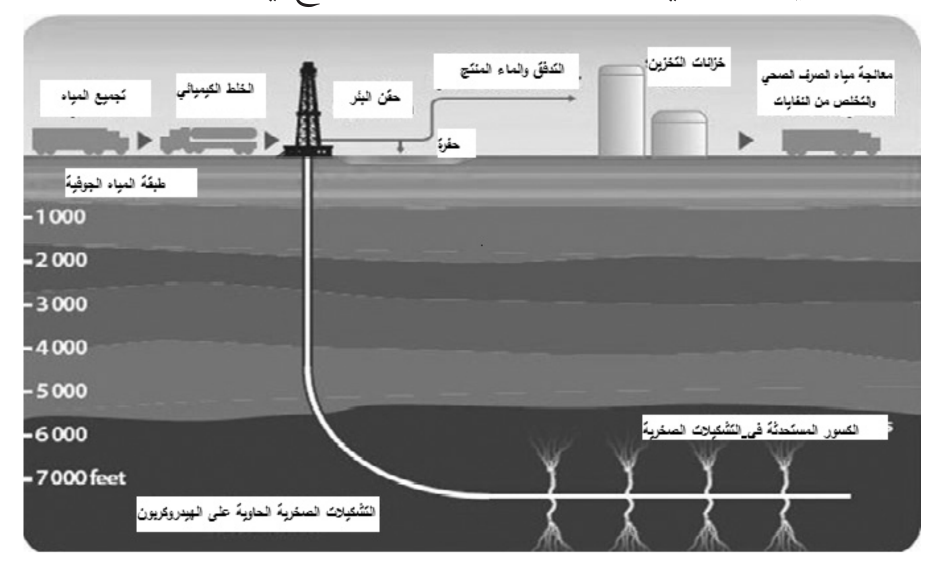
3-2-2: النفط الضيق والغاز الضيق

إن هذه التراكمات هي استغلال للنفط أو الغاز مباشرة من صخور المصدر، ولا يزال النفط في بيئته الترسيبية الأصلية، ونظراً لأن المادة العضوية تترسب عادةً في بيئة موحلة، فإن الصخور الناتجة لها نفاذية منخفضة بعامة، أي أن الطبقات «ضيقة» tight.

ومن المفارقات أن هذه الآفاق النفطية غير التقليدية لديها مخاطر أقل في حفر ثقوب جافة وذلك على الرغم من إمكانية حدوث ذلك، وبدلاً من ذلك فإن الخطر يكمن في أن الآبار لن تكون ناجحة كما هو مخطط لها، إما بسبب مشاكل تكنولوجية أو بسبب انخفاض كبير في أسعار النفط، وفي داخل صناعة النفط فإن هناك حماس كبير للنفط الضيق كمصدر مستقبلي للإمداد، ولقد تم بالفعل استخدام التقنيات المختلفة المستخدمة لاستغلال النفط الضيق في حقول النفط منذ عقود، ولكن تم دمجها مؤخراً لاستخراج النفط من طبقات كانت تعتبر في السابق آفاقاً نفطية غير اقتصادية، وعلى مدى عقود كانت صناعة النفط قد عرفت بهذا الصخر الزيتي الذي يتكون فيه النفط . لاحظ أن النفاذية ليست هي نفسها المسامية؛ فـ النفاذية هي السهولة التي يمكن أن يتدفق بها السائل عبر الصخر، أما المسامية فهي ببساطة مقدار المسافة بين جزيئات الصخور. إن التاريخ الجيولوجي الكلاسيكي للنفط والغاز الطبيعي هو أنه على مدى العصور الجيولوجية فإن البعض من النفط كان قد تسرب من الصخر الزيتي إلى صخور ذات نفاذية أعلى بكثير، لقد أنتجت حقول النفط التقليدية الرواسب المحصورة في هذه الصخور عالية النفاذية (المكامن) عن طريق حفر بئر أسفل السطح وعبرها عمودياً بشكل أساسي، وبسبب النفاذية العالية فإن النفط أو الغاز سيتدفق في المكمن مسافة أفقية عبر الصخر للوصول إلى البئر.

ولكن عندما تكون النفاذية أقل فإنه بالإمكان استخدام تقنيات مختلفة لتعزيز نفاذية الطبقات الحاملة للنفط، وفي كثير من الأحيان تسمى هذه التقنية بتقنية التكسير الهيدروليكي hydraulic fracturing، أو ببساطة بتقنية

التكسير fracking. لقد تم استخدامها لعقود في الآبار الرأسية لتعزيز نفاذية المكمن الطبيعي الذي هاجر إليه النفط، وعندما تكون النفاذية منخفضة بشكل خاص، يكون المكمن «ضيقاً» tight وذلك لأن المسامية جد منخفضة بحيث لا يتدفق النفط بسهولة، وعند دمجها مع التقنيات التي تسمح بحفر البئر على طول الطبقات الجيولوجية («الحفر الموجه»)، يمكن أن يكون طول البئر على اتصال بالصخور الحاملة للنفط، ومن ثم فإنه يمكن أن يتحد الطول الأكبر مع المسامية المنخفضة بحيث تنتج البئر ما يكفي من النفط (أو الغاز) لتكون بئراً اقتصادية، حتى عندما لا يولد طول كل وحدة الكثير من النفط، وفي بعض الأحيان قد تكون هذه صخرة هاجر إليها النفط، ولكن في الآونة الأخيرة تم استخدام طريقة استخراج النفط الضيق[1] هذه للاستغلال المباشر للنفط الذي لا يزال في صخرة المصدر، كما هو موضح في الشكل 3-1.



الشكل 3-1 : الحفر الأفقي والتكسير الهيدروليكي
(Source Welch 2014)

(1) من الناحية الفنية فإن كلمة كلمة «ضيق» tight0 تعني ببساطة أن الطبقات ذات نفاذية منخفضة، لذلك هناك حالات يتسرب فيها الزيت من الصخر الزيتي إلى طبقة أخرى غير منفذة من الصخر الزيتي. هناك موقف آخر يتمثل في أن تكون طبقات الصخر الزيتي التي تحتوي على مادة المصدر العضوية متداخلة مع طبقات رقيقة غير منفذة من الحجر الطري أو طبقات الحجر الجيري ذات النفاذية المنخفضة. كل هذه ترسبات نفطية ضيقة.

بعد أن تم حفر البئر فإن نفاذية السجيل الصخري غير النفاذ تزداد وذلك عن طريق التكسير الذي يضخ الماء في التشكيلات الصخرية تحت ضغوط جد عالية لكسرها، ومن ثم زيادة النفاذية بشكل مصطنع بحيث يمكن للنفط أو الغاز أن يتدفق إلى البئر. لقد تم استخدام تقنيات التكسير الهيدروليكي في صناعة النفط منذ عقود، كما هو الحال مع جميع التقنيات التي تم تحسينها بمرور الوقت . يحتوي الماء المستخدم على حبيبات رملية أو خزفية مضافة إليه للحفاظ على الشقوق الجديدة مفتوحة بمجرد تحرير الضغط، كما يحتوي على عدد من المواد الكيميائية المضافة والمصممة لإعطاء الماء الخصائص الفيزيائية الدقيقة اللازمة ليكون أكثر فعالية[1]، وعندما كانت أسعار النفط مرتفعة للغاية بين عامي 2007 و 2014 فقد تم نشر هذه التقنية على نطاق واسع مما أثارت الكثير من الجدل بشأنها.

بالنسبة لاقتصاديات النفط فإن هناك العديد من المشاكل: أولها أن عملية التكسير الهيدروليكي مُكلفة من الناحيتين النقدية والطاقة، وكما قد يتوقع المرء فإن كمية الضغط ومن ثم الطاقة المطلوبة لتكسير الصخور هي كبيرة وتزداد مع زيادة العمق، وأن هذه الزيادة مع العمق هي أحد أسباب إعادة تقييم بعض أحواض السجيل النفطي فيما يتعلق بقابليتها الاقتصادية الحالية . أما المشكلة الثانية فهي أن كمية المياه المطلوبة كبيرة، وتختلف الروايات بشأن الكميات ولكن الرقم الذي يُستشهد به غالباً هو 15 مليون لتر لكل بئر McGrath[2] (2013). ونظراً لأن منطقة النفط الضيق أو منطقة الغاز الضيق تتطلب مئات أو حتى آلاف الآبار، فإن كميات المياه اللازمة تتراكم، مما يسبب مشكلة في بعض مقاطعات النفط الضيق والغاز الضيق التي تم تحديدها، وتقع موارد الغاز الضيق الكبيرة المقترحة لكل من الأرجنتين والصين التي تعتبر من بين الأكبر في العالم في المناطق القاحلة أو شبه القاحلة.

---

(1) يقوم رجال الإطفاء أيضاً بذلك، إذ يضيفون كميات صغيرة من البوليمر إلى الماء بحيث يقل الاحتكاك الذي يمر عبر خراطيم الحريق، ومن يصل الماء إلى النار. في الواقع مما يجعل الماء أكثر انزلاقاً، انظر في (Gleick 1988).

(2) إن حوض السباحة الأولمبي القياسي (50 × 25 × 2 متر) يستوعب 2.5 مليون لتر؛ لذلك تخيل أن هناك حاجة إلى 6 أحواض سباحة أولمبية من المياه لازمة لتكسير البئر.

يعود الكثير من الماء المستخدم في التكسير إلى السطح بعد إزالة ضغط عملية التكسير، وأنه بالإمكان استعادة هذه المياه وإعادة تدويرها مما يقلل من الكميات التي يتم استهلاكها بالفعل، وغالباً ما يتم النقل من بئر إلى أخرى باستخدام خطوط أنابيب مؤقتة لتقليل الأضرار على البنية التحتية للطرق المحلية. لكن المياه التي تعود إلى السطح من عملية التكسير غالباً ما تكون ملوثة بملامسة الضغط العالي مع الصخور في العمق. يكون التكسير الفعلي بعامة أقل من كيلومتر واحد تحت أي طبقة مياه جوفية وغالباً ما يكون أكثر بكثير، وكما رأينا سابقاً فإن هناك حاجة إلى بئر مبنية بشكل صحيح مع غلاف اسمنتي لمنع مياه التكسير من تلويث طبقات المياه الجوفية الضحلة. إن المشكلة الأكبر هي الانسكابات السطحية المحتملة التي يجب احتواؤها والسيطرة عليها بدقة، كما أنه يجب معالجة المياه المعادة في النهاية على أنها نفايات كيميائية [1] قبل إطلاقها مرة أخرى في البيئة. إن جميع الإجراءات المختلفة للتأكد من أن عملية التكسير الهيدروليكي لا تلوث البيئة تكلف أموالاً، وتحتاج هذه التكاليف إلى أن تضاف إلى التحليل الاقتصادي، إن التأثير العام بالطبع هو أن هذه التكاليف المتزايدة تقلل من حجم الأرباح ومن ثم تغيير الوضع الاقتصادي، ويدور الكثير من الجدل السياسي حول التكسير وبشكل أساس حول التكاليف التي ستكون مطلوبة لاحتواء ومعالجة المياه التي تعود إلى السطح.

هناك مشكلة أخرى مع رواسب النفط الضيق وهي أن كمية النفط التي يمكن إنتاجها من كل بئر عادة ما تكون محدودة أكثر من آبار النفط والغاز التقليدية، وهذا يرجع إلى النفاذية المنخفضة للتشكيل الصخري. إن تقنية الحفر الأفقي التي تعرض البئر إلى حجم أكبر بكثير من الصخور المشبعة بالنفط، وتقنية التكسير التي توافر عدد من القنوات عالية النفاذية بين البئر والصخور المحيطة يمكن لهما حل هذه المشاكل جزئياً فحسب.

(1) اعتماداً على السجيل النفطي فإن الملوثات قد تشتمل على مواد كيميائية تجعل الماء مسرطناً إذا تمت معالجته لاحقاً لاستخدامه كمياه للشرب، أو في حالات أخرى يمكن جعله مشعاً (Warner et al. 2013).

هناك مشكلة أخرى وهي أن كمية النفط في الصخر التي ستتدفق إلى البئر ولكن ببطء، وأن جميع آبار النفط والغاز تترك الكثير من النفط والغاز في الطبقات الجيولوجية، لكن مقدار ذلك يعتمد على الحجم والشكل والتركيب الكيميائي لجزيئات الصخور، وما يحدث هو أن جزيئات النفط أو الغاز «تلتصق» بجزيئات الصخور، ويعتمد هذا «الالتصاق» على الكيمياء والفيزياء، وفي بعض الأحيان فإن الجزيئات التي تلتصق بجزيئات الصخور تغلق المسارات المؤدية إلى البئر مما يقلل من نفاذيتها . كما قد يتخيل المرء، فإن هذه مشكلة في المكامن الضيقة حيث تكون المسافات بين جزيئات الصخور أصغر بكثير من المكامن التقليدية. عادة ما تنخفض معدلات الإنتاج بسرعة أكبر في الخزانات الضيقة أكثر مما تنخفض في الخزانات التقليدية الأكثر مسامية.

والنتيجة هي أن تطوير النفط الضيق أو الغاز الضيق يعني الحاجة إلى المزيد من الآبار لحجم الصخور التي تكلف أكثر، وستنخفض الكميات المنتجة بسرعة مما يؤدي إلى انخفاض الإيرادات، وبعامة ستصل نسبة أقل من النفط أو الغاز الأصلي إلى البئر.

بتجميع كل ذلك فمن الواضح أن آبار النفط والغاز الضيقة ستكون وسيلة أكثر تكلفة لاستخراج الهيدروكربونات قياساً بالآبار التقليدية، وفي اقتصاد السوق إذا كان أحدهم يجني المال فسيقوم شخص ما بذلك، فعندما كان سعر تداول النفط فوق 80 دولار للبرميل فقد حققت من مثل هذه المشاريع أرباحاً في الولايات المتحدة وكانت النتيجة أن الإنتاج الأمريكي زاد للمرة الأولى منذ عدة عقود، وعندما انخفضت أسعار النفط إلى ما دون 50 دولار للبرميل فقد توقف هذا النشاط فعلياً، لكن مع ذلك تستمر الآبار التي تم حفرها بالفعل في الإنتاج، ومن وجهة نظر الشركة فإن الأمر يتعلق ببساطة بما إذا كانت البئر ستكون مربحة كما هو موضح في الفصل الثاني، ومن منظور اقتصادي أوسع فإن السؤال هو ما إذا كانت الحقول غير التقليدية هذه لديها القدرة على استبدال النفط والغاز المُنتَجَين من المصادر التقليدية التي بدأت الآن في الانخفاض.

فيما يتعلق بالسؤال الأول، ما إذا كانت البئر الفردية ستكون مربحةً فقد تم العثور على الإجابة باستخدام النموذج المالي نفسه الذي تم استخدامه في الفصل الثاني، بينما تختلف تفاصيل الآبار الفردية فإن المعلومات المتاحة تشير إلى أن معظم الآبار مربحة بالفعل. بالنسبة لآبار النفط الضيقة في باكِن Bakken فإن هيوز Hughes في عام 2014 يعطي قيم إنتاج ابتدائية نموذجية ومعدلات انخفاض، إذ تمتد البيانات المتاحة نحو 5 سنوات فحسب، ولكن مع توقع عمر بئر يبلغ 15 عاماً فإن النتائج تظهر في الجدول 3-2.

الجدول 3-2 : تقديرات عائد الأسعار لبئر نفط Bakken النموذجي

(بناءً على معدلات الإنتاج والانخفاض الأولية التي قدمها Hughes في عام 2014)

الدفع (سنة)	معدل العائد الداخلي	الربح قبل الضريبة (مليون دولار) بعد 15 سنة	سعر النفط (دولار/برميل)
5	11٪	2.8	100
6	6٪	1.5	90
9	1٪	0.2	80
>15	سلبي	-1.0	70

يجب أن نتذكر أيضاً أن التكاليف يتم تكبدها في الغالب في حفر البئر لكن مع امتداد الإيرادات لعدد من السنوات بعد ذلك، وعندما تنخفض أسعار النفط بعد بدء الإنتاج وتنخفض الكميات المنتجة أيضاً، قد يتغير المشروع من كونه مربحاً إلى كونه غير مربح. ومن ثم فإن انهيار أسعار النفط في الفترة 2014-2015 جعل العديد من الآبار القائمة آنذاك غير مربحة، الأمر الذي أدى بالطبع إلى تثبيط حفر آبار جديدة في مكامن ضيقة، ولكن نظراً لأن الجزء الأكبر من الإنفاق قد تم بالفعل فإنه من المرجح أن تستمر الشركة في إنتاج أكبر قدر ممكن من النفط من الآبار التي تم حفرها بالفعل.

يمكن إجراء تحليل مماثل لآبار الغاز الضيقة، لكن هناك تعقيد إضافي يتمثل في وجود نطاق كبير في معدلات الإنتاج الأولية التي يتم من خلالها حساب انخفاض الإنتاج، وفي الصناعة فإنه يُشار إلى معدل الإنتاج الأولي المرتفع على أنه «الوصول إلى نقطة جيدة» تقلب سعر الغاز نحو 4 دولارات لكل

مليون وحدة حرارية بريطانية منذ عام 2009، وأنه غالباً ما ينخفض السعر إلى ما دون مستوى 4 دولارات عن الارتفاع فوقه[1]. تختلف معدلات إنتاج الغاز الأولية على نطاق واسع، لكن العديد من الآبار في تكوين مارسيلوس Marcellus الصخري في بنسلفانيا لديها معدلات إنتاج أولية تتراوح بين 4000 و 8000 ألف قدم مكعب في اليوم بالرغم من أن البعض من الآبار فيها معدلات إنتاج أعلى بكثير، وباستخدام معدلات الانخفاض التي قدمها ميرنزMearns في عام 2013، فإنه بالإمكان حساب نقاط التعادل لمدة 15 عام للآبار الفردية وكما هو موضح في الجدول 3-3.

الجدول 3-3 : معدلات التدفق الأولي التعادل لغاز Marcellus محسوبة من البيانات في ميرنز Mearns في عام 2013

سعر الغاز المطلوب لتحقيق التعادل لمدة 15 عام	معدل الإنتاج الأولى 1000 قدم كعب في اليوم
$4.20	4000
$3.30	5000
$3.10	6000
$2.40	7000
$2.10	8000
$1.90	9000
$1.70	10,000

تعتبر تطورات النفط والغاز الضيقة على نطاق واسع ظاهرة حديثة، لذا فإن الانخفاضات «النموذجية» بعد نحو 5 سنوات هي لا تزال تقديرات.

إن السؤال الثاني حول النفط الضيق والغاز الضيق هو ما إذا كان سيتمكنا من تعويض حجم الانخفاض الذي يظهر في حقول النفط التقليدية، إن النظرة المستقبلية لهذا الأمر هي ليست بالجيدة . ففي حقل النفط التقليدي يبدأ الإنتاج ويزداد بشكل متكرر لعدد من السنوات بسبب حفر المزيد من الآبار في الحقل وأن معدلات تدهور الآبار الفردية هي منخفضة. لكن هذه الآبار

(1) يوافر عدد من الخدمات المالية من مثل عروض أسعار على سبيل المثال:
http://www.nasdaq.com/ markets / natural-gas.aspx.
تم الرجوع إليه في 27-1-2017 لمعرفة الأرقام المذكورة

التقليدية تظهر انخفاضاً في حجم الإنتاج بمرور الزمن والحاجة إلى استبدال هذا الانخفاض . ونظراً لأن آبار النفط الضيقة تظهر معدلات إنتاج متناقصة سريعاً وعلى الفور تقريباً، فإن الطريقة الوحيدة لتجاوز الانخفاضات من حقول النفط التقليدية هي حفر آبار جديدة بشكل أسرع وأسرع، وبمجرد توقف حفر الآبار الجديدة فإنه سيبدأ الإنتاج من المنطقة الضيقة بأكملها في الانخفاض ومن ثم لن يعوض حجم الانخفاض من الحقول التقليدية. يشار إلى الحفر الأسرع والأسرع لآبار النفط الضيق (والغاز) بإسم "حفر المصنع" factory drilling، إذ تم تصميم العملية لحفر الآبار في تتابع سريع بحيث يمكن لكل بئر جديدة أن تحل محل الانخفاضات من الآبار التي تم الانتهاء منها للتو . (Forbes and Wilcyznski 2010) يلاحظ العديد من النقاد أن الإحصائيات التي تظهر زيادة الإنتاج من عروض النفط الضيق هي نتيجة لحفر المزيد من الآبار، ومن الواضح أن هذا الأمر لا يمكن أن يستمر لفترة طويلة، إذ أن مجرد الحفاظ على الإنتاج ثابتاً يخضع لتأثير الملكة الحمراء Red Queen [1]، ومع زيادة حجم الإنتاج الذي يتطلب حفراً سريعاً بشكل متزايد للآبار الجديدة فقد أدت حقيقة أنه يجب أن يكون هناك حد لمدى الطبقات الغنية بالنفط إلى تحذيرات بشأن قدرة العروض الضيقة لتعويض حجم الانخفاض في المجالات الأكثر تقليدية (انظر على سبيل المثال Likvern 2012 و Hughes 2014) فضلاً عن ذلك فإن المدى الذي تقوم به الشركات بتوسيع أنشطتها لزيادة الإنتاج فعلياً باستخدام الأموال المقترضة يثير شبح فقاعة مالية.(Berman 2010)

توجد موارد النفط والغاز الضيقين في الأرض، وأن السؤال هو ما إذا كان يمكن استغلالهما اقتصادياً، وكما هو واضح في الطريقة التي يتم بها حفر الآبار الضيقة وتكسيرها فإنه يتم استخدام قدر كبير من الطاقة لإنشاء بئر

(1) تم تسمية تأثير الملكة الحمراء Red Queen على اسم الملكة الحمراء في كتاب لويس كارول Through The Looking Glass في عام 1871. قالت الملكة الحمراء «الآن ، هنا وكما ترى فإن الأمر يتطلب كل ما يمكنك القيام به للركض في المكان نفسه. فإذا كنت ترغب في الوصول إلى مكان آخر ، فإنه يتوجب عليك الركض بسرعة مضاعفة على الأقل!».

في حقل نفط أو غاز ضيق مقارنةً بحقل النفط أو الغاز التقليدي . سوف يناقش الفصل السادس موازين الطاقة هذه بتفصيل أكبر، ولكن من الواضح أن عائد الطاقة وبشكل أدق عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة والمختصر عموماً إلى EROI (كليفلاند Cleveland وآخرون في عام 1984) [1] هو أقل في استغلال النفط الضيق مقارنة بالاستغلال التقليدي.

إن تقديرات (Hall and Klitgaard 2012) لـ عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة EROI للنفط الضيق تتراوح بين 1:5 و 1:12 ؛ هذا بالمقارنة مع أكثر من 1:25 لجميع حقول النفط والغاز الطبيعي التقليدية تقريباً . تشير التقديرات إلى أن الحقول الضحلة نسبياً (أي تكاليف الحفر المنخفضة) وحقول النفط المنفذة في المملكة العربية السعودية لها قيم عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة الأصلية تقترب من 1:100. كما هو الحال مع جميع الموارد فإن أفضل الرواسب من التراكمات الطبيعية هي أول ما يتم استغلاله (Bardi 2014)، لذلك ينخفض عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة لاكتشافات النفط والغاز مع مرور الوقت وأن أحد الأسئلة حول تقنية النفط الضيق هو ما إذا كانت تمثل ببساطة قيم عائد الطاقة على الطاقة المستثمرةI منخفضة المتوقعة حيث تصبح رواسب النفط الأسهل أكثر ندرة أو ما إذا كان النفط الضيق يمثل توقفاً في حدوث النفط مما يتطلب أيضاً تقنية عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة أقل بكثير.

نظراً لأن النفط الخام هو ناتج كل من العروض النفطية التقليدية والضيقة، فإنه يمكن مقارنتها بدون حسابات أو حسابات إضافية، قد تحتوي تفاصيل الحفر واستكمال الآبار الفردية على اختلافات فنية، ولكن لا يوجد شيء مختلف جوهرياً في طريقة إجراء التقييمات الاقتصادية، إن أحد العوامل الرئيسة التي تميز نوعي التوقعات هو الاختلاف في ملفات تعريف المخاطر.

(1) وفقاً لمورفي Murphy وهول Hall في عام 2010 فإن كليفلاند وآخرون يبدو أن مقالة عام 1984 هي أول استخدام لاختصار EROI المحدد ؛ لكن تم توضيح المفهوم مسبقاً على سبيل المثال بواسطة (Hall 1972) و (1979a, b) Hall et al .

فبالنسبة للنفط الضيق فإن العثور على الطبقات الغنية بالنفط يمكن التنبؤ به إلى حد ما، مع وجود المخاطر في التكنولوجيا ومعدل الانخفاض؛ وبالنسبة لحقول النفط التقليدية فإن هناك مخاطر أكبر حول ما إذا كانت البئر ستخترق طبقات جيولوجية حاملة للنفط ومنفذة بما فيه الكفاية وستعثر على النفط مع معرفة تقنية الاستخراج ومعدلات الانخفاض بشكل أفضل من التجربة.

3-2-3: نفوط أخرى غير تقليدية

من المحتمل أن يتوفر نوعان من الهيدروكربونات غير التقليدية وبدرجة محدودة ويتم استخدامهما كمصادر للنفط، الأول هو القطران شديد اللزوجة الموجود بكثرة في فنزويلا وكندا وروسيا وكازاخستان ومدغشقر، إن رمال القار tar sands [1] هذه هي حقول نفط بها زيوت ثقيلة وكثيفة لا يمكن إنتاجها بالطرائق العادية لحقول النفط، إما أن يتم تعدين الرواسب ومعالجتها وذلك باستخدام تقنيات مشابهة للعديد من عمليات التعدين الأخرى، أو يمكن إجراء معالجة لها في الموقع للسماح بالاستخراج . وفي كلتا الحالتين فإن الهدف هو كسر سلاسل الهيدروكربونات الطويلة التي تميز القطران إلى سلاسل أقصر هي النفط الخام، وبعد هذه الخطوات تكون النتيجة نفط خام سائل يتم نقله إلى منشآت معالجة النفط التقليدية.

مهما كانت الطرائق المستخدمة فإن تكاليف استخراج النفط الخام من رمال القطران أعلى بكثير من تكاليف النفط التقليدي أو حتى النفط الضيق؛ وهذا صحيح سواء أكان المرء يتحدث عن التكلفة المالية أم عن تكلفة الطاقة . والسبب هو أنه بالإضافة إلى مدخلات الطاقة اللازمة للاستخراج الأولي فإن هناك حاجة إلى مدخلات طاقة إضافية بشكل مباشر وغير مباشر لتقسيم القطران إلى شيء مشابه للنفط الخام التقليدي.

(1) تفضل كندا وشركات النفط مصطلح «الرمال النفطية» oil sands بدلًا عن رمال القار tar sands .

تكمن جاذبية رمال القار في أن الاحتياطيات المحسوبة هي جد كبيرة [1] لدرجة أن قيود عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة المنخفضة فقط تحد من دورها كمصدر متاح للنفط، ونتيجة لذلك تمتلك كل من شركات النفط العالمية الكبرى (ExxonMobil و Royal Dutch Shell و Chevron و BP) عمليات مشتركة في رمال القار الكندية، وقد يمثل هذا جزئياً استعداداً لقبول عوائد مالية أقل نوعاً ما على استثماراتهم الرأسمالية من أجل اكتساب الخبرة اللازمة للتمكن من الاستمرار في الاستثمارات الناجحة مع هذا المورد.

يشبه وإلى حد ما من الناحية الاقتصادية هو السجيل النفطي، ولكن مثلما تمثل رمال القار خطوة إلى أسفل في عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة من النفط التقليدي (أي أنها تتطلب المزيد من مدخلات الطاقة لكل وحدة إنتاج)، فإن السجل النفطي يمثل خطوة إضافية لأسفل في عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة من رمال القار. والسبب هو أنه في حين أن السجيل النفطي يمكن أن ينتج النفط، إلا أنه مصدر مختلف نوعياً عن كل من النفط الخام الطبيعي وعن القار. إن السجيل النفطي هو صخر السجيل الذي يحتوي على مواد عضوية مهمة لها إمكانية أن تتحول إلى نفط، ولا ينبغي الخلط بين السجيل النفطي ونفط السجيل - فكلاهما مختلف . إن السجيل النفطي هو صخر سجيلي الذي لم تصبح فيه المادة العضوية نفطاً بعد، في حين أن نفط السجيل هو النفط الموجود في الصخور السجيلية ويتم إنتاجه من هذه التكوينات غير المنفذة («الضيقة») كما تمت مناقشته سابقاً. إن نفط السجيل هو شكل من

(1) تمتلك كندا وفنزويلا ما لا يقل عن 300 مليار برميل من الاحتياطيات، ويرجع ذلك أساساً إلى رواسب رمال القار الكبيرة؛ هذا بالمقارنة مع 55 مليار برميل للولايات المتحدة الأمريكية (BP Statistics 2014). إن هذه الاحتياطيات الكبيرة المتوافرة بتكاليف معروفة هي المكافئ الاقتصادي لحل المخزون كيميائياً. فمن الناحية الاقتصادية فإنه لا ينبغي أن ينخفض عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة للنفط إلى أقل من عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة لرمال القار - فإذا حدث ذلك فإنه سيتم إنتاج المزيد من زيت رمال القار مما يحافظ على عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة عند هذه القيمة، ونظراً لوجود احتياطيات رمال القار والتكنولوجيا بأكملها معروفة، فإن جلب المزيد من النفط إلى الإنتاج ليس سوى مسألة توقيت لفتح المزيد من المناجم وإنشاء البنية التحتية الأخرى اللازمة.

أشكال النفط الضيق، يتم استخراجه من رواسب التراكمات الطبيعية عن طريق الأنابيب؛ إن السجيل النفطي هو صخر يحتاج إلى تحويل المادة العضوية فيه إلى نفط، وببساطة شديدة فإن السجيل النفطي هو مصدر محتمل للصخور التي تحتاج إلى مزيد من «الطهي» cooking لفصل النفط عن الكيروجين kerogen.

لا نحتاج فقط إلى طاقة كبيرة لإنهاء عملية تحويل الكيروجين إلى نفط، ولكن الحرارة المطبقة على السجيل النفطي من أجل القيام بذلك لها أثر جانبي مؤسف يتمثل في تغيير الهياكل المعدنية في الصخر، مما يؤدي إلى أن تحتل المواد المتبقية حجماً أكبر من المادة الأصلية. بينما تقوم الشركات بتقييم السجيل النفطي للنهر الأخضر Green River بشكل دوري [1]، إلا أنها لم تجده حتى الآن منافساً اقتصادياً لمصادر النفط الأخرى، حتى عند مقارنته برمال القار. بالنظر إلى أن السجيل النفطي يعد استغلالاً اقتصادياً أقل من رمال القار، وبالنظر إلى وجود كميات جد كبيرة من رمال القار، فإنه من غير المرجح أن يصبح السجيل النفطي قادراً على المنافسة في المستقبل القريب.

3-3: خيارات الطاقة غير النفطية

إن الوقود الأحفوري غير النفطي والفحم والغاز الطبيعي يميلون إلى امتلاك تكاليف طاقة أقل إلى حد ما مقارنة بالنفط، ولكن في حين أن الطاقة لكل دولار قد تكون أكبر، فإن التكلفة الحقيقية لاستخدام أي مصدر طاقة معين يجب أن تتضمن أيضاً عدداً من العوامل الإضافية. وعلى سبيل المثال فإن الفحم وبعامة له تكلفة طاقة أقل من النفط، ولكن هناك تكاليف إضافية مرتبطة بمكافحة التلوث وتحويل الفحم إلى أشكال أخرى من الطاقة . عليك أن لا تتوقع أن ترى القاطرات البخارية تعود إلى نظام السكك الحديدية، وكما

(1) إن السجيل النفطي في النهر الأخضر الذي يقع في المنطقة التي تلتقي فيها كولورادو Colorado ويوتا Utah ووايومنغ Wyoming هو أحد أفضل رواسب السجيل النفطي وأكبرها، ولقد كان معروفاً منذ فترة طويلة لأنه عندما استخدمه الصيادون الأوائل لإحاطة نار المخيم، فإنه يمكن للحرارة الناتجة عن النار أن تنهي تحويل الكيروجين إلى زيت و«تحترق» الصخور، في حين أن حساب الموارد الهيدروكربونية المحتملة جد كبير وبغض النظر عن سعر النفط فإن السجيل النفطي يتطلب دائماً سعراً أعلى قليلاً ليكون منطقياً من الناحية الاقتصادية.

سنرى في الأقسام اللاحقة فإن للغاز الطبيعي تكاليف كبيرة لنقل المورد إلى الأسواق، أما الطاقة الكهرومائية فهي غير مكلفة أيضاً على أساس كل وحدة طاقة، ولكن لا يمكن تخزين كميات كبيرة من الكهرباء بسهولة، وفيما يلي سرد موجز للمصادر الرئيسة للطاقة غير النفطية:-

3-3-1: الغاز الطبيعي

في حين أن الغاز الطبيعي هو وقود أحفوري فإنه بالإمكان استخدامه كبديل للنفط في العديد من التطبيقات، إن محركات الغاز الطبيعي للسيارات والشاحنات جد مشابهة لمحركات البنزين والديزل الموجودة؛ وفي بعض الأحيان يكون من الممكن تحوير محرك موجود يعمل على وقود البنزين والديزل إلى محرك يعمل على الغاز. إن الغاز الطبيعي ليس أقل تكلفة على أساس الطاقة لكل وحدة فحسب ولكنه ينتج أيضاً كمية أقل من ثاني أوكسيد الكربون لكل وحدة طاقة مستهلكة، تنتج العديد من آبار النفط الغاز الطبيعي وكذلك النفط، وعبر تاريخ صناعة النفط فقد تم حرق كميات لا حصر لها من الغاز الطبيعي كمنتج ثانوي غير اقتصادي لإنتاج النفط . تنتج البعض من أنواع المواد العضوية غازاً أكثر بكثير من النفط، مما يؤدي إلى عدم وجود نقص في الغاز الطبيعي، ولسنوات عديدة كان أحد أسباب «الثقب الجاف» عند التنقيب عن النفط هو العثور على الغاز بدلاً من ذلك، إذ تحتوي ملفات شركة النفط على معلومات حول العديد من الآبار التي وجدت غازاً بدلاً من النفط ومن ثم فقد تم سدها وتركها.

إن عيب الغاز الطبيعي هو أنه غاز، ومن الأسهل بكثير وضع سائل (أحد مشتقات النفط) في نوع من الخزان ثم يتم نقله إلى المستخدم بدلاً من القيام بذلك بالغاز، ولكن بسبب التشابه بين النفط والغاز الطبيعي وحقيقة أن العديد من آبار النفط تنتج الغاز أيضاً، فإن شركات النفط دائماً ما تكون شركات غاز طبيعي أيضاً، وأن تطوير الآفاق الغازية المستقبلية مشابه تماماً لتطوير آفاق النفط وأن تقييمات المشاريع هي نفسها، وسيكون الغاز الطبيعي جزءاً من مستقبل شركات النفط اليوم من مثل الفصلين السابع والتاسع اللذين يناقشان الموضوع بمزيد من التفصيل.

3-3-2: الفحم

كان الفحم هو الوقود الأحفوري الذي تم استغلاله لأول مرة، وفي البداية كان قد تم التقاط كتل من الفحم حيث تتعرض طبقات الفحم على سطح الارض، وأن الأصل الجيولوجي للفحم له عدد من أوجه التشابه مع النفط والغاز الطبيعي ولكنه يختلف عنهما، وعلى العكس من النفط والغاز الطبيعي اللذان يعود أصلهما إلى أجزاء مجهرية من المادة العضوية المشتقة أساساً من الكائنات وحيدة الخلية، فإن الفحم مشتق من نباتات خشبية أكثر تعقيداً.

في حين أن البعض من مصادر النفط والغاز الطبيعي تأتي من البحيرات، فإن معظمها من بيئة بحرية، وعلى النقيض من ذلك فإن مصدر الفحم الخشبي العضوي هو أساساً من المستنقعات والأراض السبخة وهي بيئات أرضية . يمكن للمرء أن يتبع التدرج الكامل لرواسب الفحم التي تتراوح من الخث peat، من خلال الليغنيت lignite، والبيتومينbituminous، وفحم أنثراسايت anthracite coal في نهاية المطاف، ومع تشكيل الأخير في درجات حرارة وضغوط أكبر من تلك التي تؤدي إلى الغاز الطبيعي، وبسبب مصدره العضوي الأكثر تعقيداً فإن الفحم يميل إلى احتوائه على العديد من الشوائب النزرة الموجودة فيه أكثر من تلك الموجودة في النفط أو الغاز الطبيعي، وهذا يمكن أن يجعل الفحم ملوثاً للغاية عند حرقه للطاقة. فضلاً عن ذلك فإنه في حين أن البعض من استخدامات الفحم الحديثة فعالة إلى حد ما، فإن المحرك البخاري التقليدي ليس كذلك، إذ يتطلب حرق الفحم الأكثر حداثة استثمارات رأسمالية كبيرة يتم تشغيلها في الغالب على أساس شبه مستمر لتحقيق كفاءتها.

نظراً لأنه تم العثور على الرواسب الأولية من الفحم على السطح فإنه كان من السهل نسبياً استخراجها كما أن الفحم سهل النقل، ولقد تقدم الحفر ليصبح عمليات التعدين، كما تم تطوير المحركات البخارية الأصلية، ومن ثم فإنه في بعض النواحي كان قد تم تطوير الثورة الصناعية بأكملها من أجل ضخ المياه من مناجم الفحم.

3-3-3: الطاقة النووية

تتميز الطاقة النووية بأنها لا تنتج ثاني أوكسيد الكربون، ولكنها تنتج نفايات مشعة طويلة العمر، فضلاً عن ذلك فإنه عندما يحدث خطأ ما فإنه

قد تتعرض منطقة محيطة كبيرة للتلوث الإشعاعي، وفي الواقع فإن المفاعلات النووية تتمتع بسجل أمان أفضل من معظم أنظمة الوقود الأحفوري، لكن التصور العام هو على العكس من ذلك.

3-3-4: الطاقة الكهرومائية

كما ذكرنا سابقاً فإن الطاقة الكهرومائية هي طاقة غير مُكلفة، لكن يجب استخدام الكهرباء المولدة حيث يتم توليدها لأن تخزين الكهرباء هو أمر مُكلف، وهذا يعني أيضاً أن معظم التطبيقات تحتاج إلى التوصيل المباشر عن طريق الأسلاك بمحطة التوليد، مما يحد من استخدامات الطاقة المتنقلة الرئيسة من مثل النقل بالشاحنات والزراعة، وهناك قيود أخرى وهي أن العديد من أفضل المواقع الكهرومائية أي المواقع الجيدة للسدود قد تم استخدامها بالفعل.

3-3-5: «مصادر الطاقة المتجددة»

تتطور مجموعة من التقنيات بسرعة لتسخير الطاقة الشمسية بشكل مباشر (على سبيل المثال الخلايا الكهروضوئية) أو بشكل غير مباشر (من مثل الرياح)، وأن تكاليف هذه المنتجات تتناقص بسرعة، لكنها لا تنتج حتى الآن كميات كافية لتعويض الكثير من النفط، وقد يتغير هذا الأمر لكن أي توقع واقعي للتغيير لا يزال يجب قياسه بعقود بدلاً من سنوات.

تعمل شركات النفط في سياق المجتمع ككل، ويجب أن يتنافس النفط اقتصادياً مع أي مصدر آخر للطاقة، وبعامة فإنه يمكن إجراء مقارنات بين عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة للوقود البديل، على الرغم من أن التفاصيل تجعل من مثل هذه الحسابات تُعد مشكلة بشكل محبط . توافر الطاقة من مصادر الوقود غير الأحفوري حالياً أقل من 20% مما يحتاجه الاقتصاد العالمي (BP Statistics 2014) من الطاقة غير الأحفورية، تساهم كل من الطاقة النووية والكهرومائية بأكثر من 5% تاركة جميع مصادر الطاقة المتجددة الأخرى - من مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة المتحصل عليها من الكتلة الحيوية، وكل شيء آخر يمكن للمرء أن يفكر فيه مع نسبة أقل من 10%، ولسوف تتناول الفصول اللاحقة القضايا الاقتصادية لهذه البدائل لصناعة النفط بمزيد من التفصيل.

الفصل الرابع

ذروة النفــط

إن تاريخ صناعة النفط هو تاريخ تخمة بالإنتاج يتبعه مخاوف بشأن العرض المستقبلي، وأن الاكتشافات النفطية الكبرى تميل إلى إغراق السوق بإمدادات نفطية تفوق بكثير حجم الطلب، لكن الأسعار المنخفضة الناتجة عن الاغراق تزيد من حجم الطلب، ومع توقف النفط عن التدفق من الآبار فإن هناك قلقاً بشأن النقص، وبحلول نهاية القرن التاسع عشر كان صندوق Standard Oil Trust ناجحاً نسبياً في تمهيد هذه الدورات، ولكن مع تفكك الثقة في أوائل القرن العشرين عادت المشكلة إلى الظهور . مع تزايد أهمية النفط تحول دور الحفاظ على الأسعار إلى حد ما إلى الحكومات، ولكن عندما بدأ الإنتاج من الاكتشافات الجديدة في الانخفاض، وكما هو الحال دائماً فقد تحول القلق إلى ما يمكن أن يحدث عند نفاد النفط، وفي عام 1919 توقع كبير الجيولوجيين في هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية أن ذروة إنتاج النفط ستحدث في غضون 3 سنوات (White 1919) [1]، وأن هذه التقلبات في صناعة النفط تجعل القراءة مثيرة وكاملة مع الشخصيات الملونة، ومن الأمثلة الجيدة على ذلك عمل أنتوني سامبسون Anthony Sampson في الاخوات السبعة The Seven Sisters في عام 1972 وعمل يرجين Yergin في الجائزة The Prize في عام 1992، وفي حقول النفط كانت الحقيقة هي أن الاكتشافات فاقت الطلب المتزايد بسرعة على الرغم من أن المسار لم يكن مستوياً.

(1) كما ورد في Ahlbrandt (2012).

1-4: توقعات هوبرت لإمدادات النفط

بينما اتبعت مقاطعة نفطية جديدة مقاطعة نفطية جديدة، مما أدى إلى تهدئة المخاوف من النقص، ومثلما أصبحت موارد النفط الهائلة في المملكة العربية السعودية واضحة فقد توقع الجيولوجي إم كينج هوبرت M. King Hubbert(*) في عام 1956 أن إمدادات النفط ستنتهي - وقريباً، وفي عرض تقديمي أمام مؤتمر صناعي كان هوبرت قد قدم تنبؤاً جريئاً بأن الإنتاج البري في الولايات المتحدة (باستثناء ألاسكا) سيبلغ ذروته في نحو عام 1970. كان ذلك بعد 14 عاماً فحسب، والوقت القصير هو نتيجة للنمو الهائل في الاستهلاك الذي كان لا يزال يحدث، ولقد بلغ الإنتاج البري الأمريكي ذروته في عام 1970 مما منح هوبرت شرف اختراع مفهوم «ذروة النفط» peak oil .

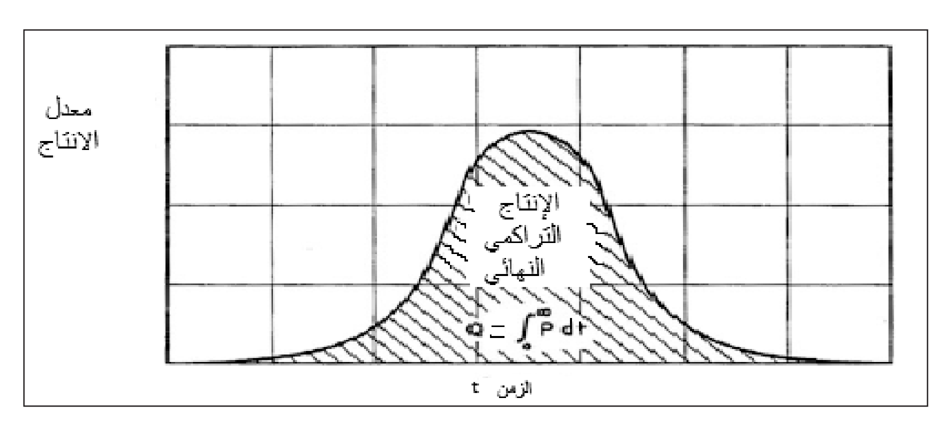
كانت نقطة هوبرت الرئيسة في عام 1956 هي أن النمو الأسي يعني أن استنفاد مورد محدود سيأتي بسرعة مذهلة، فإذا نما الإنتاج بمعدل 7.9% سنوياً فإن الكمية المطلقة المنتجة تتضاعف في أقل من 9 سنوات . كان عنوان ورقة هوبرت في عام 1956 هو الطاقة النووية والوقود الأحفوري Nuclear Energy and the Fossil Fuels، وكانت وجهة نظره الرئيسة هي أنه لضمان الطاقة الكافية فإنه لم يكن من السابق لأوانه البدء في انتقال شامل إلى اليورانيوم والطاقة النووية.

يأتي مفهوم الذروة من نموذج هوبرت النظري لأي استغلال محدود للموارد، وكما هو موضح في الشكل 4-1.

إن شعبية مصطلح «ذروة النفط» هي أكثر حداثة، وربما يرجع تاريخها إلى التقارير الصحفية حول تأسيس جمعية لدراسة ذروة النفط في عام [1]2002.

(*) كانت ماريون كينج هوبرت Marion King Hubbert (5 أكتوبر 1903-11 أكتوبر 1989) عالماً جيولوجياً وجيوفيزيائي أمريكي، ولقد عمل في مختبرات أبحاث شل Shell research lab في هيوستن Houston، تكساسTexas .

(1) للحصول على تاريخ المصطلح انظر في Aleklett (2012) p. 10..



الشكل 4-1 : إنتاج مورد محدود (هوبرت 1956)

لطالما كان هوبرت مهتماً بالطبيعة المحدودة لموارد الأرض [1]، وكانت ورقته الأولى عن الطبيعة المحدودة للنفط في عام 1938 (هوبرت 1938)، بالإضافة إلى توقعه لعام 1956 بشأن ذروة إنتاج النفط في الولايات المتحدة نحو عام 1970، فقد توقع أن ذروة إنتاج النفط في العالم ستحدث في نحو عام 2000 . توقع منشور هوبرت في عام 1956 أن يكون عام ذروة الإنتاج، ولكن لإجراء هذا التوقع فإنه كان بحاجة إلى تقديرات لكمية النفط الإجمالية التي سيتم إنتاجها، وفي ورقته البحثية لعام 1956 استخدم هوبرت تقديرات لهذا المورد الإجمالي القابل للاسترداد التي أعدها آخرون[2]، لقد أظهر هوبرت كيف أن إنتاج هذه الكمية من النفط بالنظر إلى تاريخ الإنتاج حتى الآن يتطلب الوصول إلى ذروة في الإنتاج في وقت أقرب مما قد يتوقعه الأفراد.

واصل هوبرت العمل على مشكلة العرض النفطي، ولقد استخدمت أوراقه اللاحقة (هبرت في عام 1962 و1967 و1969 و1974 و 1982 من بين أمور أخرى) مجموعة متنوعة من التقنيات لتقدير كل من الموارد القابلة للاسترداد في نهاية المطاف والتاريخ التقريبي للذروة في الإنتاج . ربما كانت أهم فكرة

(1) قام كويكندال Kuykendall في عام 2005 بتجميع ببليوغرافيا منشورات هوبرت، أنظر في http://www.hubbertpeak.com/hubbert/bibliography.htm ولقد تم الوصول في 2-9-2014.

(2) ولا سيما تلك الخاصة بـ Lewis George Weeks وهو كبير الجيولوجيين في شركة Standard Oil of New Jersey (المعروفة الآن بـ ExxonMobil).

هي إدراكه بأنه يجب اكتشاف النفط قبل إنتاجه، ومن ثم يمكن أن تشير المعلومات من الاكتشافات أيضاً إلى الكمية الإجمالية للنفط قبل أن تقدم معلومات الإنتاج النتيجة نفسها.

كان الدكتور هوبرت عالماً لامعاً، إذ تؤرخ سيرة ذاتية حديثة (Inman, 2016) الكثير من تطور تفكيره حول النفط والموارد الطبيعية الأخرى وتفاصيل الخلاف الذي تسببت فيه أفكاره في داخل الصناعة وفي داخل الحكومة الأمريكية. كانت إحدى أعظم نقاط قوة هوبرت هي رسم البيانات ببساطة وتقديمها مع ما كان يرى أنه استنتاجات واضحة - ثم عدم التراجع في مواجهة الضغوط السياسية . هذا الأمر لم يجعله يحظى بشعبية في العديد من الدوائر، لكنه كان محظوظاً لوجود أرباب عمل داعمين لمعظم حياته المهنية، وكما يشير فإنه كان يقوم بجمع البيانات وتقديمها فحسب، وأنه إذا تمكن أي شخص من إظهار أن بياناته غير صحيحة أو أن منطقه كان خاطئاً فإنه سوف يتراجع عن رأيه، وهذا نادراً ما يحدث على الرغم من أنه كان في غاية الأهمية من عمله لأنه كان كذلك الحال من عمل الآخرين.

كانت رؤية هوبرت التنبؤية وعلى حد تعبيره هي أنه عندما يتم إنتاج آخر قطرة من النفط، فإن الكمية المنتجة ستكون مساوية للكمية المكتشفة (Hubbert 1962)، وباستخدام هذه الرؤية فقد تمكن هوبرت من وضع توقعاته الخاصة للكمية الإجمالية للنفط المتاح من البيانات المنشورة عن الاكتشافات، بدلاً من الاعتماد على تقديرات من الآخرين كما فعل في عام 1956، ثم تابع كما كان يفعل من قبل في استخدام رقم المورد الإجمالي هذا للتنبؤ بموعد حدوث ذروة الإنتاج . على الرغم من أن هوبرت واصل استكشاف الموضوع إلا أن جوهر نظريته كان في مكانه بحلول عام 1962، وهذا الأمر لم يرضِ القوى السياسية والتجارية في صناعة النفط التي استمرت في الإعلان عن وجود نفط كافٍ دائماً؛ ولقد جادل المتحدثون بإسم الصناعة أنه إذا أصبح النفط نادراً، فسيرتفع السعر مما سيؤدي إلى مزيد من عمليات الحفر واكتشاف المزيد من النفط، ولهذا فإنه لم يتم عمل الكثير لتهدئة المخاوف التي أثارها هوبرت.

قام كين ديفايس Ken Deffeyes وهو زميل أصغر لـ هوبرت، بالحفر والتنقيب في رياضيات هوبرت ونشر أسلوب هوبرت في كتابين(Deffeyes 2001, 2005)، بالإضافة إلى ذلك فقد تتحقق ديفايس من البعض من أعمال هوبرت وذلك من خلال فحص النفط المكتشف في كانساس[1]، وهو أمر مهم لأنه يربط منهجية هوبرت بأخذ العينات الإحصائية. باستخدام افتراض هوبرت اللوجستي مع بيانات الإنتاج المعروفة فقد تمكن ديفايس من عمل توقعات عالمية جديدة : الاسترداد النهائي 2000 × 910 برميل مع تاريخ ذروة الإنتاج في 24 نوفمبر 2005 [2].

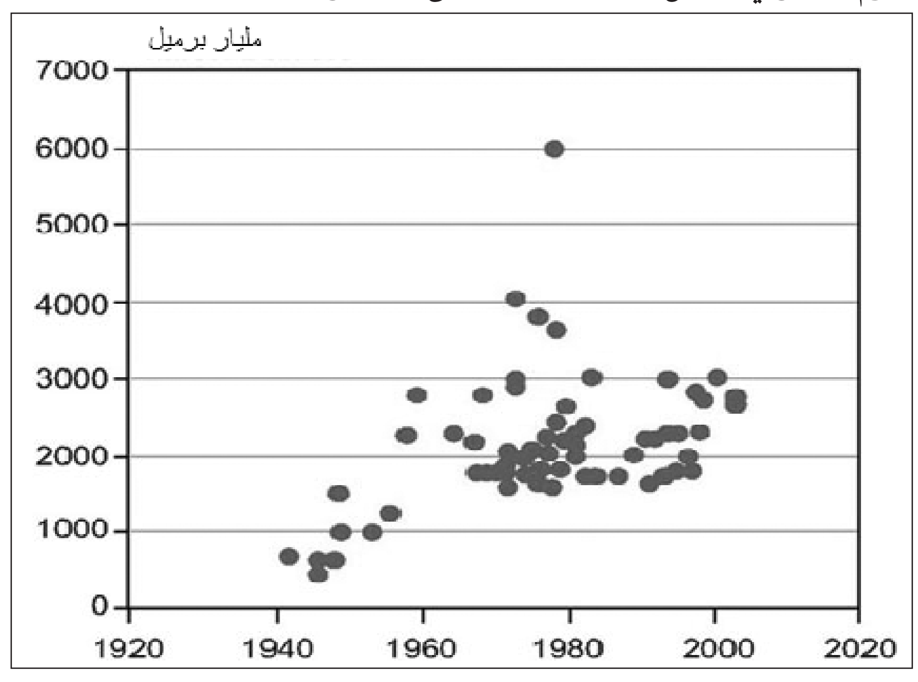
من المهم ملاحظة أن هوبرت ودوفايس يستخدمان اساليب إحصائية للوصول إلى نتائجهما، إذ تُستخدم الأساليب الإحصائية بشكل متكرر في العلوم، ولقد أشار دوفايس إلى قول مأثور بين الإحصائيين «ليس عليك أكل الثور بأكمله لتعرف أن اللحم عسير المضغ“.

وجد الكثيرون في صناعة النفط وما زالوا يجدون أن توقعات هوبرت مقلقة، ولقد كانت الإثارة الفكرية لجزء الاستكشاف من أعمال النفط ولا تزال هي في اكتشاف أماكن جديدة للتنقيب عن النفط، وعلى الرغم من أن معدلات نجاح التنقيب أو الآبار «الجامحة» هي منخفضة، إلا أن النجاحات يمكن أن تكون مذهلة عندما تأتي . سيقر معظم الأفراد في الصناعة بأنه نظراً لأن الأرض محدودة فإنه يجب أن توجد ذروة، ولكنهم يتساءلون عن توقيتها والكمية الإجمالية للنفط التي سيتم إنتاجها وشكل منحنى الإنتاج وجوانب أخرى، وببساطة شديدة نقول أنه إذا كان المبلغ الإجمالي الذي يجب العثور عليه أكبر فإنه يمكن أن يكون تاريخ الذروة أبعد في المستقبل، وفي هذا الامر جادل العديد من محللي الصناعة، ولربما معظمهم بأن رقم الاسترداد

(1) تم استكشاف كانساس بدقة شديدة بحثاً عن النفط، وهذا يسمح باختبار طرائق التنبؤ الإحصائي مقابل النتائج المعروفة.

(2) يوضح ديفايس أن عدم اليقين في التحليل هو شهر واحد ، مما يسمح له باختيار عيد الشكر للولايات المتحدة لعام 2005 باعتباره التاريخ الفعلي لذروة النفط (Deffeyes 2005, p. 43).

النهائي أكبر من حسابات هوبرت أو دوفايس، ويعود تاريخ العديد من الحجج إلى الستينيات في أعقاب ورقة هوبرت وأن هذه الحجج لا تزال تستخدم حتى اليوم، يظهر في الشكل 4-2 مدى عدد من التقديرات النفطية.



الشكل 4-2 : تقديرات النفط القابل للاستخراج النهائي
(from Sims et al. 2007)

شهدت السبعينيات قبولاً أكثر انتشاراً لأطروحة هوبرت على الرغم من أن الكثيرين في صناعة النفط ظلوا متشككين[1] في أطروحته، ولقد تم استخدام العديد من تقنيات التنبؤ الأخرى من مثل حساب كمية النفط المحفور لكل قدم من آبار الاستكشاف المحفورة، أو إجراء الحسابات الحجمية للأحواض بأكملها . بالإضافة إلى الجدل الدائر حول أي رؤية جديدة فإن أوراق هوبرت كانت قد أحدثت ضجة بسبب توقيتها، إن صور ناسا NASA الأولى «السفينة الفضاء الأرضية»، وتقرير نادي روما لحدود النمو (ميدوز وآخرون Meadows et al في عام 1972)، وخطوط

(1) تم عقد مؤتمر في عام 1974 (للاطلاع على الإجراءات أنظر في (Haun (ed) 1975)) في جامعة ستانفورد حول موضوع «طرائق تقدير حجم موارد النفط والغاز غير المكتشفة»، ولقد كان هوبرت واضحاً بغيابه.

انتظار الحصول على البنزين الناتجة عن الحظر العربي مجتمعة خلقت شعوراً بأن نظرية هوبرت لها مزاياها . ثم بعد ذلك وفي منتصف الثمانينيات عندما انخفض سعر النفط فقد كان هناك أكثر من وفرة من المعروض مع توفر الكثير من النفط، ولقد تضاءل الاهتمام بالتنبؤ بموعد نفاد هذا المورد المحدود.

استطراد قصير:

إن الموارد والاحتياطيات ومعدلات الإنتاج والمناقشات حول ذروة النفط وسؤال السياسة «هل أن إمداداتنا النفطية كافية؟» وغالباً ما تتفكك بسبب الاختلافات والعلاقات بين مصطلحات الموارد resources والاحتياطيات reserves ومعدلات الإنتاج rates of production، يمكن للمرء أن يطلق على هذه «الراء الثلاث "three Rs"» لسياسة النفط.

تبنت صناعة النفط والغاز مفردات مشتركة لوصف الأنواع المختلفة للنفط والغاز التي تعتقد الشركات المختلفة وذلك بناءً على استطلاعاتها المحددة أنها موجودة في الأرض، ونظراً لوجود النفط والغاز في الصخور على عمق آلاف الأقدام تحت سطح الأرض، فإن حسابات الكمية الموجودة تخضع لأنواع عديدة من عدم اليقين، وفي الجدول 4-1 وهو معيار الصناعة يتم التعبير عن هذا النوع من عدم اليقين الفني على المحور الأفقي.



الجدول 4-1 : تعريفات صناعة النفط والغاز للاحتياطيات والموارد
(SPE 2011)

لقد رأينا أن الكمية التي قد تكون اقتصادية لإنتاجها ستعتمد على العديد من العوامل وأن أي منها قد يتغير، ولقد تم دمج هذا في المحور الرأسي معاً مع أوجه عدم اليقين الأخرى، إن إجمالي النفط أو الغاز الذي كان في الأصل في الصخور هو مساحة الجدول 4-1، وأن الكمية المنتجة حتى الآن هي معروفة، لذلك يكون الشريط الأبيض الصلب عبر الجزء العلوي، بعد ذلك هي التعاريف المهمة.

إن الاحتياطيات هي نفط أو غاز تم اكتشافه وتقييمه على أنه اقتصادي لإنتاجه («تجاري») وذلك بناءً على حفر الآبار، وبالاقتران مع المسوحات الزلزالية التفصيلية التي تم إجراؤها حول البئر فإنه بالإمكان حساب احتمالية إنتاج البئر لمزيد من النفط . إن عدم اليقين الفني يزداد في التقييم مع المسافة من البئر المختبرة ومع العديد من العوامل المحددة الأخرى، ومجتمعة فإنه يمكن تقسيم كمية النفط لهذا التراكم المعروف إلى احتياطيات مثبتة (أكبر من 90% يقين)، ومحتمل (بين 50 - 90% يقين)، ومحتمل (أقل من 50% يقين) [1].

إن الموارد هي مصطلح أكثر شمولاً، إذ تعتبر المبادئ التوجيهية لجمعية مهندسي البترول SPE أن الموارد تختلف عن الاحتياطيات كما هو موضح في الشكل 4-3، ولسوء الحظ فإنه كثيراً ما تستخدم الكلمة بشكل جماعي لتشمل الاحتياطيات أيضاً، وأن تعريف جمعية مهندسي البترول المتفق عليه هو أن الموارد لا تشمل الاحتياطيات، وهي مقسمة إلى فئتين: عَرَضِية ومستقبلية. تكون الموارد العَرَضِية (الطارئة) معروفة جيداً وهي عادة ما تكون نتيجة الحفر، إذ أن الأمر يتعلق بالسعر الحالي للنفط أو الغاز فحسب، فهي ليست اقتصادية ومن ثم فهي لا تستحق التطوير. يمكن للخط الذي يقسم الاحتياطيات والموارد العَرَضِية أن يتحرك بسهولة لأعلى ولأسفل - بل إنه يحدث في كثير من الأحيان مع تقلب أسعار النفط (أو الغاز)، لاحظ أنه لا يوجد شيء اسمه «احتياطي عَرَضِي».

(1) يشار إليها على أنها احتياطيات 1P و 2P و 3P ، إذ يمثل 1P الاحتياطيات المؤكدة. .

إن الموارد القابلة للاسترداد في نهاية المطاف (URR) التي تمت مناقشتها في بعض الأحيان كما في جمعية مهندسي البترول SPE هي إجمالي البترول الموجود في البداية (PIIP)، والموارد المتبقية القابلة للاسترداد هي URR أقل إنتاج حتى الآن.

بالإضافة إلى الحسابات القائمة على اختبارات التدفق من الآبار وتفسير المسوحات الزلزالية لمنطقة الاكتشاف وغيرها من المعايير الفنية، فإن هذه التقييمات تأخذ في الاعتبار أيضاً وجود البنية التحتية لجلب النفط أو الغاز إلى السوق وحالة الملكية القانونية للنفط أو الغاز . تسمح هيئة الأوراق المالية والبورصات[1] للشركات المتداولة علناً بإظهار الاحتياطيات المؤكدة كأصل في ميزانياتها العمومية ولكن لا شيء آخر، ومن ثم فإن القواعد المحاسبية[2] مهمة في تعريف وتقييم ما يتم عرضه على أنه احتياطي مؤكد.

إن معدل الإنتاج هو ما يقصد به أن يكون معدل إنتاج النفط أو الغاز، لكن قسمة الاحتياطيات على معدل الإنتاج لا تعطي عادة الوقت المتبقي قبل توقف الحقل عن الإنتاج، إذ أن معدل الإنتاج ينخفض مع مرور الوقت؛ ومن ثم فإن الحقل الذي يحتوي على 10 ملايين برميل من احتياطي النفط وينتج مليون برميل في السنة لن ينتج لمدة 10 سنوات ثم يتوقف . بدلاً من ذلك سينخفض المعدل يوماً بعد يوم وقد يستغرق الأمر 20 عاماً أو أكثر قبل إنتاج وبيع آخر 10 ملايين برميل وإعلان الحقل بأنه حقل غير اقتصادي.

تماماً كما طور هوبرت نظريته في وقت كان فيه النفط وفيراً فقد حذر عالمان جيولوجيان مرة أخرى في التسعينيات من أن وفرة النفط ستنفد في وقت أقرب مما يتوقعه الكثيرون، إذ نَشَر في المجلة العلمية الشهيرة Scientific American كل من كامبل Campbell و لاهير Laherrère في عام 1998 دراسة

(1) هيئة الأوراق المالية والبورصات التي تنظم تداول الأوراق المالية في الولايات المتحدة الأمريكية.

(2) أنظر في مجلس محاسبة المعايير المالية 2010 ASU-03 (FASB 2010).

لهما وقد أشارا فيها إلى أن إنتاج النفط سيبدأ قريباً في الانخفاض، إن شعبية المصطلح المحدد «ذروة النفط» هي أكثر حداثة، وربما يرجع تاريخها إلى التقارير الصحفية حول تأسيس جمعية لدراسة نفط الذروة في عام 2002 [1] ومن بين العلماء الآخرين هو كولين كامبل Colin Campbell.

2-4: توقعات كامبل لإمدادات النفط

بينما تأسست توقعات هوبرت في الإحصائيات فقد كان هناك طرائق أخرى لعمل تقدير مماثل، أحدها هو استخدام دراسة كثيفة البيانات لتوقع انخفاض إنتاج آبار النفط وحقول النفط، وكما تمت مناقشته في الفصل الثاني عند اكتشاف حقل نفط لأول مرة، فإن الخطوة التالية هي حفر آبار إضافية لمعرفة مداها، ومع حفر آبار إضافية سيزداد الإنتاج من الحقل، وفي النهاية سيتم الوصول إلى حدود الحقل ويمكن حساب حجم المكمن النفطي بدقة متزايدة ويتم إنتاج النفط، ومع إنتاج النفط سينخفض الناتج من الآبار الفردية بمرور الوقت؛ وسينخفض أيضاً الناتج الإجمالي من الحقل وهو عبارة عن مجموع ناتج جميع الآبار . يختلف كل حقل عن الحقل الآخر، وقد لا تبدأ من مثل هذه الانخفاضات في الحقل لعدد من السنوات إذ يتم حفر آبار جديدة لجلب جميع مناطق الحقل إلى الإنتاج، وبمجرد أن تبدأ عمليات الانحدار بالإنتاج التي قد تكون بطيئة وثابتة أو قد تكون شديدة الانحدار إلى حد ما، فإن المعدل الذي يُسمح فيه بتدفق البئر يحدد كمية النفط التي يمكن إنتاجها منه في النهاية، لذا فإن قرارات هندسة الإنتاج تُحدث فرقاً في كمية النفط المنتج، وبشكل دوري فإنه قد يكون من المفيد إضافة تقنية إنتاج جديدة وخلق خطوة تصاعدية في منحنى الانخفاض، وفي تسعينيات القرن الماضي لخص عالم الجيولوجيا الاستكشافية الدولي كولن كامبل الذي يعمل بقاعدة بيانات كبيرة

(1) أنظر في أليكليت Aleklett في عام 2011 الصفحة العاشرة للحصول على تاريخ المصطلح.

مملوكة [1] هذه الأنماط لجميع حقول النفط في العالم، فقد خلص كامبل في عام 1997 إلى أن إنتاج النفط العالمي على وشك أن يصبح مقيداً بشكل خطير، وكانت هذه هي المنهجية التي استخدمها كامبل و لاهيرير في مقالتهما المنشورة في المجلة العلمية Scientific American، فقد كانت رسالتهم الأساسية هي أنه مع حدوث هذه الانخفاضات على نطاق عالمي، فلن يكون من الممكن عكس الاتجاه إما عن طريق التكنولوجيا الجديدة أو الاكتشافات الجديدة، ولقد كانت أرقامهم الإجمالية من منهجية مختلفة لكنها مماثلة لتوقعات هوبرت النهائية في عام 1982 مما أعطى مصداقية لكلا النهجين، ولقد نشر كامبل في عام 2013 منذ ذلك الحين أطلساً تفصيلياً لهذا العمل.

في الجزء المتبقي من هذا الفصل فإنه سيشار إلى نهج هوبرت الذي يستخدم البيانات العالمية لعمل تنبؤات، على أنه نهج «من أعلى إلى أسفل» "top-down"؛ وستتم الإشارة إلى تلخيص كامبل لآلاف منهجية الحقول الفردية على أنه نهج «من أسفل إلى أعلى»"bottom-up".

إن جميع النظريات لها عدد من الافتراضات الأساسية وأن الذروة النفطية هي ليست استثناء، وأن استخدام هوبرت لمنحنى لوجستي لنمذجة إنتاج النفط يعد أحد هذه الافتراضات، ولقد ناقش هوبرت بنفسه إمكانية وجود أكثر من ذروة واحدة، لكن هوبرت لم يشرح بوضوح قراره باستخدام منحنى لوجستي، يرى ديفايس في عام 2001 الذي كان يعرف هوبرت شخصياً أنه كان جزئياً تخميناً محظوظاً ويبدو أنه قد نجح، ومهما كان سبب اختيار منحنى لوجستي فإن التحويل الرياضي إلى مخطط خطي يسمح بحساب المقدار النهائي الذي سيتم استرداده عند إنتاج البرميل الأخير؛ ولقد استنتج هوبرت وآخرون أن هذا الرقم النهائي للنفط يبلغ نحو 2 تريليون برميل (2×10^{12} برميل) . ومن هذا

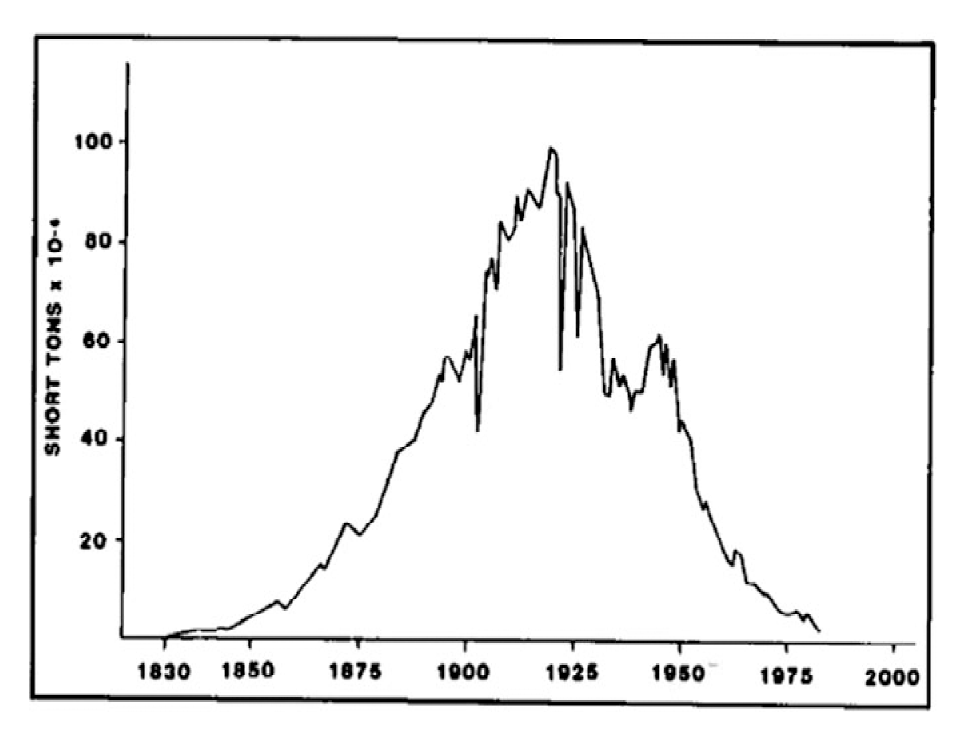
(1) قام مستشارو البترول بجمع وتجميع البيانات من قطاع التنقيب والإنتاج في صناعة النفط في معظم أنحاء العالم، ثم قاموا ببيع المجموعات مرة أخرى إلى شركات النفط، ولقد تم الاستحواذ على الشركة منذ ذلك الحين من قبل IHS التي ما زالت تواصل النشاط لحد الآن.

الرقم فإن المعرفة بالإنتاج المعروف حتى الآن وتماثل الذروة يمكن ايجادهما. يعطي ديفايس في عام 2005 تاريخ هذه الذروة كما هو في نوفمبر من عام 2005، وأن حقيقة أن الإنتاج كان قد زاد منذ ذلك التاريخ هو دليل واضح على أن النظرية بحاجة إلى البعض من التعديلات، ولكن لماذا وإلى أي مدى لا يزال هناك نقاش ساخن، وفي المقابل فإن هالوك وآخرون Hallock et al في عام 2014 أظهروا اتفاقاً جيداً مع تحليل هوبرت للعديد من البلدان، وفي هذا السياق يقدم بينتلي Bentley في الأعوام 2002 و2009 و2016 تحليلاً مفصلاً للمشاكل.

على الرغم من عدد من التحذيرات في البعض من أوراق هوبرت اللاحقة فقد استمر الشكل المتماثل لمنحنى هوبرت في التأثير في المناقشة، في حين كان هناك العديد من النقاد للرقم الإجمالي للموارد، وهي المنطقة الواقعة تحت المنحنى وتاريخ الذروة فإن شكل المنحنى بعد الذروة كان قد حظي باهتمام أقل. يشير تناسق المنحنى اللوجستي إلى أنه بمجرد تحول الاقتصاد إلى النفط، فإنه سيتخلص تدريجياً من النفط دون حدوث اضطرابات اقتصادية كبيرة، ومن ثم فإن استخدام المنحنى اللوجستي ربما يكون من المفارقات ذلك أنه عمل على تهدئة المخاوف نظراً لأنه يظهر استبدالاً تدريجياً للطاقة النفطية بدلاً من ظهور أزمة طاقة.

3-4: ذروة العرض مقابل ذروة الطلب

يشير الانخفاض اللطيف في الإنتاج إلى «ذروة الطلب» demand peak بدلاً من «ذروة العرض»supply peak، يبدأ هوبرت ومعظم الجيولوجيين ومحللي صناعة النفط الآخرين بالتركيز على النفط الموجود في باطن الأرض، ومنذ أن كان توافر النفط هذا يجب أن يكون محدوداً، فإن ذروة إنتاجهم مقيدة بإمدادات النفط - إنها «ذروة العرض». ولكن يمكن أن يكون سبب الذروة هو استبدال أفضل وأرخص للنفط الذي يخفض الطلب. وهذه هي «ذروة الطلب»، إن أحد الأمثلة على ذروة الطلب هو إنتاج فحم الأنثراسايت في ولاية بنسلفانيا (كارمالت Carmalt وسانت جون St. John في عام 1986) كما هو موضح في الشكل 4-3.



الشكل 4-3 : إنتاج فحم الأنثراسايت في ولاية بنسلفانيا

(Source Carmalt and St. John (1986) © AAPG; reprinted with permission of the AAPG, whose permission is required for further use)

لم ينفد فحم الأنثراسايت في شمال شرق ولاية بنسلفانيا، وبدلاً من ذلك فإن تكلفة الفحم الحجري أقل بكثير لدرجة أنه لم يعد من المربح تعدين الأنثراسيت، وبعامة يحب الاقتصاديون نهج ذروة الطلب، وذلك لأنه يتناسب جيداً مع النظرية الاقتصادية النيوكلاسيكية Neoclassical. ويقول أولئك الذين يدافعون عن ذروة الطلب على النفط أنه سيتم استبدال النفط بالبعض من الطاقة البديلة عندما تصبح الطاقة البديلة أقل تكلفة وسيؤدي ذلك إلى زيادة الطلب على النفط . يُفترض أن سبب انخفاض تكلفة البعض من الطاقة البديلة يرجع إلى التحسينات في التكنولوجيا، ولكن قد يكون أيضاً بسبب ارتفاع تكلفة النفط بسبب الندرة، وبالنسبة للاقتصادي فإن التكلفة النسبية هي المهمة فحسب، سواء أكانت الطاقة البديلة هي وقود أحفوري آخر من مثل الغاز الطبيعي أم البعض من تقنيات الطاقة المتجددة، ونظراً لوجود

النفط في كل مكان وأهميته وحجم استخدامه فإنه من الصعب بعض الشيء استحضار بديل له.

4-4: التعريفات في تحليل ذروة النفط

كان على كل من النهجين من أعلى إلى أسفل ومن أسفل إلى أعلى التعامل مع حقيقة أن إنتاج النفط لم يبلغ ذروته بشكل واضح[1]، وأن أولئك الذين يعتقدون أن ذروة النفط ستحدث بسبب قيود العرض يميلون إلى القول بأن السبب هو أنه تمت إضافة البعض من المصادر من مثل النفط الضيق ورمال القار وحتى سوائل الغاز الطبيعي إلى إحصاءات إنتاج النفط، ووفقاً لهذا المعيار فقد تم الوصول إلى ذروة النفط لحقول النفط التقليدية التي حللها هوبرت، ويصبح السؤال أضيق من المدة التي يمكن أن تعوض فيها معدلات هذا الإنتاج غير التقليدي عن الانخفاض في الإنتاج التقليدي، وهذا له تأثير أكبر في التحليل من أسفل إلى أعلى منه على التحليل من أعلى إلى أسفل، وفي النهج التصاعدي فإن المرء يكون دائماً مقيداً بالحالة الحالية للتكنولوجيا، وعلى النقيض من ذلك يستخدم النهج من أعلى إلى أسفل اتجاهات من البيانات التاريخية التي شهدت تحسناً تقنياً منذ حفر الآبار الأولى في القرن التاسع عشر، ومن ثم فإن التوقعات في المستقبل تحتوي على الأقل على عدد من الافتراضات المتضمنة للتحسين التكنولوجي . لقد توقع هوبرت بعضاً من هذا وذكر رمال القار والسجيل النفطي في أوراقه لكن لم يكن هناك إنتاجاً لأي منهما عندما كان يكتب، لذا فإن إحصائياته وتقديرات الموارد لا تشملهما، لقد كانت مكامن النفط الضيقة معروفة أيضاً ولكن أي نفط تحتويه لم يتم تضمينه في الاحتياطيات، وذلك لأنه حتى وقت قريب لم يكن يُعتقد أن من مثل هذه المكامن منخفضة النفاذية ستكون اقتصادية على الإطلاق، لكن مع ذلك فإن نتيجة إضافة إنتاج رمال القار التي تتطلب المعالجة لتصبح نفطاً إلى إحصاءات إنتاج النفط تثير التساؤل حول ما إذا كانت البيانات الكامنة وراء التحليلات متسقة، وكما ذكرنا سابقاً فإنه لا يتم إنتاج السجيل النفطي حالياً.

(1) على الأقل لم يحدث ذلك حتى نهاية عام 2015.

بالإضافة إلى النفط الضيق ورمال القار فإنه كثيراً ما يتم استخدام الملصق غير التقليدي ليشمل الآفاق المستقبلية البحرية في أكثر من 500 متر من المياه والآفاق المستقبلية في القطب الشمالي، وبخاصة في البحر في المحيط المتجمد الشمالي، وحتى الآن فإنه لم يتم الطعن في معاهدة أنتاركتيكا Antarctic treaty التي تحظر الاستغلال التجاري لتلك القارة . ولكن عندما يبلغ إنتاج النفط ذروته من مصادر غير أنتاركتيكا، فلا تراهن على أنه لن يتم الطعن في هذه المعاهدة قبل وقت طويل . وعلى العكس من النفط والغاز الضيق (خاصة النفط والغاز الصخري) ورمال القار والسجيل النفطي، فإن هذه الاحتمالات غير تقليدية فقط بمعنى أنها تدفع بحدود تقنيات العمليات، وليس بمعنى أنها تستغل نوعاً مختلفاً من رواسب النفط، وأن الاستكشاف الذي يحدث في هذه المناطق هو استكشاف تقليدي - إذ تبحث الشركات عن مصدر جيد للصخور التي وصلت إلى درجات حرارة «نافذة النفط» oil window التي انتقل منها النفط بعد ذلك إلى مكمن مسامي حيث يتم حصره فيه.

إن مصدراً آخر للنفط الإضافي من تحسين التكنولوجيا هو تعزيز النسبة المئوية المستخرجة من المكامن التي يتم إنتاجها اليوم (معامل الاستخراج)(*) ، يعرف مهندسو البترول أن الاحتياطيات لكل حقل تقريباً تزداد بمرور الزمن وهناك أسباب عدة لذلك هي: أولاً - احتياطيات P1، وهي تلك التي يمكن إدراجها كأصول في الميزانية العمومية ويتم حسابها بالضرورة بشكل متحفظ، وذلك لأنها أصول يمكن استخدامها كضمان للقروض المصرفية، وأن البنوك تريد التأكد من استرداد أموالها . يستخدم البنك وفي كثير من الأحيان توقعات سعر أقل من شركة النفط لحساب مقدار الضمان الذي تقدمه شركة النفط، لذا فإن الاحتياطيات الموضحة مذكورة بشكل متحفظ، ومع إنتاج الحقل فإنه يمكن تعديل هذا الرقم لأعلى. ثانياً - لا يخرج كل النفط من الصخر وذلك اعتماداً على الخصائص الفيزيائية للصخرة، إذ سيتدفق جزء منه فحسب إلى

(*) معامل الاستخراج هو مقدار النفط أو الغاز الذي يمكن استخراجه في الظروف والتقنيات الاستخراجية السائدة حالياً.

البئر ليتم إنتاجه، ومع انخفاض هذا التدفق الطبيعي ستستخدم الشركة تقنيات مختلفة لإخراج المزيد من النفط من الصخور، وتُعرف هذه التقنيات مجتمعة بأساليب الاسترداد المعزز للنفط (EOR) Enhanced Oil Recovery.

هناك طرائق مختلفة لكن العديد منها يتضمن استخدام عدد من الآبار لضخ شيء ما إلى المكمن، وعندما يدخل هذا السائل إلى صخر المكمن فإنه سيدفع النفط الموجود أمامه إلى داخل البئر المنتجة، وفي كثير من الأحيان يتم الجمع بين هذا الدفع المادي مع شيء يجعل النفط يتدفق بسهولة أكبر بالنسبة للبخار أو مادة كيميائية تختلط بالنفط وتساعده على التدفق إلى بئر الإنتاج . يمكن أن تتبع هذه الأساليب المحسّنة بعضها البعض في أثناء عملية إنتاج الحقل، ومن ثم تسمى الاسترداد الثانوي secondary recovery أو الاسترداد الثالثي(*) tertiary recovery . لكن من الصعب إخراج 100% من النفط في المكمن، يمكن أن تتراوح نسبة الاسترداد من 20% من النفط الموجود أصلاً في المكمن إلى أكثر من 50%، ويبلغ متوسط الاسترداد نحو 36%، ويضيف الاسترداد المعزز نسباً قليلة فحسب لكن بسعر مرتفع إلى حد ما.

هناك تعليقان حول تقنيات الاسترداد المعزز التي تعمل على تحسين الاسترداد هذه: الأول هو أنها تكلف مالاً، إذ سيخضع كل مشروع من هذا القبيل لعملية موافقة مماثلة لمثال تمويل المشروع الذي تمت مناقشته في الفصل الثاني . إن تكلفة حفر آبار الحقن وتكاليف كل ما يتم ضخه فيها، والتكلفة المحتملة لفصل النفط عن هذه المادة عند ظهورها في البئر المنتجة، وسعر السلسلة الزمنية لجميع هذه المواد وسعر برميل النفط على مدى حياة المشروع كلها يجب العمل عليها، وسيكون مشروع التحسين هذا استخداماً آخر ممكناً لرأس مال الشركة ، لذلك سيتم مقارنته بالمشاريع الأخرى الممكنة . والثاني هو أنه من غير الواضح مدى تغير الإنتاج الإضافي سواء أكان ذلك في نهج هوبرت التنازلي، أم نهج كامبل التصاعدي المستخدم في التنبؤ بذروة النفط، وبالنسبة للنهج الإحصائي فإنه كان قد تم استخدام المياه للاسترداد

(*) الاسترداد الثالثي هو المرحلة الثالثة من الاسترداد أو هو الاسترداد فوق الثانوي.

الثانوي في حقل برادفورد Bradford النفطي العملاق في ولاية بنسلفانيا بدءاً من تسعينات القرن التاسع عشر، وبالنسبة للنهج التصاعدي فإن برامج الاسترداد الثانوية والثالثية تعد هي المعيار في الصناعة اليوم، لذا تضمنت التوقعات التي استخدمها كامبل ولاهيرير هذا التعافي.

إن الأهم من ذلك هو أن الافتراضات الكامنة وراء توقعات ذروة النفط هي ما يطلق عليه المهندس «شروط الحدود» boundary conditions للنظرية، تفترض جميع التحليلات التقليدية الانتقال من صخور المصدر إلى صخر مكمن مسامي يتم إنتاج النفط منه بالوسائل التقليدية، وأن رمال القار التي يتم استخراجها (التي ذكرها هوبرت في أوراقه ولكن ليس في تحليله) لا تتوافق مع هذه الشروط . إن نفط وغاز السجيل لا يتناسبان مع هذا الشرط؛ وأن المكامن الضيقة الأخرى تشبه إلى حد كبير المكامن التقليدية ولكن عند أدنى حدود لنفاذية الحقول التقليدية، ومن ثم فهي في حدود الشروط الحدودية. وأن النتيجة هي أن التوقعات المستندة إلى أي من منهجيات ذروة النفط من المرجح أن تختلف عن البيانات الفعلية، وفي الواقع فإن هذا هو السبب في أن الإنتاج منذ نحو عام 2005 لم يتبع توقعات ذروة النفط.

كما ذُكر أعلاه في مناقشة قمم جانب الطلب فقد كان الاقتصاديون وبعامة يستهزئون بنظريات ذروة النفط، وكما أشار باردي Bardi في عام 2013 فإن الجدل بين أولئك الذين يرون الاستنزاف كمسألة ملحة وقريبة المدى، وأولئك الذين هم على يقين من أن الجمع بين التكنولوجيا والبراعة البشرية يجعل الاستنزاف مشكلة فحسب في المستقبل البعيد . لأكثر من قرن كان الخبير الاقتصادي ويليام ستانلي جيفونز William Stanley Jevons في كتابه الكلاسيكي سؤال الفحم The Coal Question في عام 1865 من أوائل من تناولوا هذه المسألة، والذي كان قد نظر في المشكلة نفسها المتعلقة بتوافر الموارد لموارد الفحم في إنجلترا، ولقد كان جيفونز أيضاً خبيراً اقتصادياً ماهراً، فهو لم يلاحظ فحسب أن كمية الفحم يجب أن تكون محدودة، ولكنه لاحظ كذلك أنه كلما زاد التعدين أصبح الفحم أكثر تكلفة، وعندما فكر في استخدام الفحم بشكل

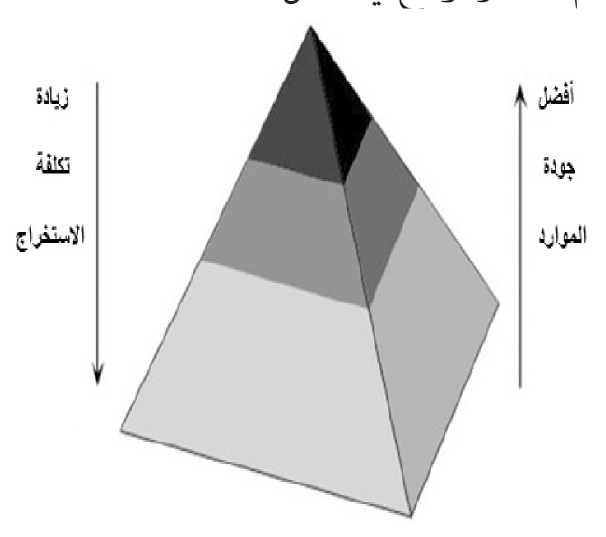
أكثر كفاءة فقد لاحظ «مفارقة جيفون» Jevon's paradox[1]. إن المفارقة هي أن استخدام الفحم بكفاءة أكبر لا يقلل من كمية الفحم المستخدمة، وقد يعتقد المرء أن الاستخدام الأكثر كفاءة سيؤدي إلى تقليل الحاجة إلى الفحم، ولكن من الناحية العملية فإن استخدام الفحم يزداد وذلك لأن الاستخدام الأكثر كفاءة للفحم يقلل بشكل فعال من تكلفته عند قياسه لكل وحدة طاقة، ومع انخفاض تكلفة الطاقة سيزداد الطلب مما يلغي توفير الكفاءة، لقد كان جيفونز قادراً على إثبات ذلك فيما يتعلق بالفحم في إنجلترا في القرن التاسع عشر، وأن علماء البيئة المعاصرون يعرفون هذا على أنه «تأثير الارتداد» rebound effect وقد لاحظوه في المواقف الحديثة (Knittel 2011)..

إن السبب الذي يجعل الاقتصاديين يحبون تفسير جانب الطلب لذروة النفط هو أنه يناسب إطارهم الاقتصادي بشكل أفضل، وإذا كان هناك نقص فسيرتفع السعر وسيتم إنتاج المزيد من المواد . يقدم سكينر Skinner في عام 1986 مراجعة جيدة لكيفية عمل ذلك في صناعة التعدين، إن الراحل موريس أدلمان Morris Adelman وهو أستاذ الاقتصاد في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا كان قد تم تحديده بقوة مع الموقف القائل بأن الطلب المتزايد سيؤدي إلى زيادة العرض (Adelman 1993) كما هو الحال مع هوبرت في موقفه أن هناك حدوداً جيولوجية لكمية النفط . يمكن رؤية هذا النهج في عمل هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية USGS[*]، وهي منظمة علمية محترمة وقد تم تأسيسها «... لفحص البنية الجيولوجية والموارد المعدنية ومنتجات المجال الوطني" (Rabbit 2000)، وفي عام 2000 نشر المسح تقييماً شاملاً لموارد

(1) انظر في أوين Owenفي عام 2010 للحصول على ملخص مع شرح لمفارقة جيفونز.

(*) هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية United States Geological Survey هي وكالة علمية تابعة لحكومة الولايات المتحدة. يدرس علماء هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية المناظر الطبيعية للولايات المتحدة ومواردها الطبيعية والأخطار الطبيعية التي تهددها. يمتد عمل المنظمة إلى تخصصات الأحياء والجغرافيا والجيولوجيا والهيدرولوجيا. وقد تأسست في 3 مارس من عام 1879 ومقرها الآن في ريستون Reston - فيرجينيا Virginia - الولايات المتحدة .United States

البترول العالمية، ووصل إلى تقدير نهائي مقداره 3×10^{12} برميلاً من النفط المحتمل استرداده، أو نحو النصف مرة أخرى من مثل معظم تقديرات ذروة النفط .(USGS2000) إن أحد المفاهيم الأساسية في منهجية هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية هو «هرم الموارد» resource pyramid وكما وصفه مكابي McCabe في عام 1998 والموضح في الشكل 4-4.



الشكل 4-4 : هرم الموارد

McCabe 1998 © AAPG;

أعيد طبعها بإذن من AAPG الذي يلزم الحصول على إذن لمزيد من الاستخدام

إن المفهوم الكامن وراء الهرم هو أنه في أي وقت يمكن تمثيل مزيج السعر والتكنولوجيا بمستوى أفقي عبر الهرم، وفوق المستوى الأفقي هذا توجد الموارد الاقتصادية الحالية، وتحت المستوى الافقي توجد الموارد غير الاقتصادية، ومن ثم فإنه كلما أصبح النفط أكثر ندرة فإن السعر يرتفع ويتحرك المستوى الافقي إلى مستوى أدنى، سيؤدي هذا إلى توفير جزء أكبر بكثير من المورد كما يتوقع أدلمان Adelman .

يشبه نهج الهرم لمورد محدود نهج تناقص درجات الخام المعروفة من التعدين، جادل سكينر Skinner في عام 1976 أنه بالنسبة للبعض من المعادن، يكون

توزيع المعدن في قشرة الأرض ثنائي النسق bimodal، وعلى سبيل المثال يمكن العثور على الرصاص مشتتاً في الجرانيت granite، ولكن كمية الرصاص جد صغيرة وبنسبة جُد صغيرة هي 0.0039% في الجرانيت المتوسط، ولن يكون من الاقتصادي تعدين الجرانيت من أجل الحصول على الرصاص، وبدلاً من ذلك يبحث المرء عن مواقف جيولوجية خاصة إذ يشكل الرصاص معدن غالينا galena (PbS) الذي قد يشكل نحو 10 % من الصخور في منجم الرصاص، وهذا هو تركيز جزيئات الرصاص في المعدن الذي يصنع الخام ore ومن ثم منجم الرصاص.

يتفق كل من منهجيتي النفط من أسفل إلى أعلى ومن أعلى إلى أسفل على أن معظم احتياطيات النفط، على الأقل حتى الآن، توجد في حقول نفط عملاقة، إن الحقول العملاقة هي الحقول التي تحتوي على أكثر من 500 مليون برميل من النفط القابل للاستخراج . يشير أحدث تجميع (Horn 2011) إلى أن ما يقرب من ثلاثة أرباع الموارد العالمية المتوقعة موجودة في حقول النفط العملاقة . ربما ينبغي النظر إلى الحقول العملاقة على أنها شبيهة بالمعادن الخام، وينبغي اعتبار الهيدروكربونات الموجودة في أسفل الهرم أشبه بالرصاص الموزع في الجرانيت. ولكن على عكس الرصاص المشتت في الجرانيت، فإن بعض الهيدروكربونات المشتتة - لا سيما رواسب النفط الضيقة من مثل رواسب باكن Bakken النفطية ورمال القار - تعتبر اقتصادية بشكل هامشي في الوقت الحاضر.

ومن ثم فإن الكثير في صناعة النفط لا يرى أي قيود فورية على إمدادات النفط، حتى لو كانت ذروة النفط التقليدية وراءنا، وعلى سبيل المثال اقترحت وكالة الطاقة الدولية (تاناكا 2009) أن الكمية الإجمالية للنفط المتاحة للاقتصاد العالمي بأسعار في متناول اليد هي كمية ضخمة.

هناك شيئان واضحان: الأول هو أن مشاكل التعريف كثيرة، وفي حين أن سلسلة BP التي تظهر الاحتياطيات تظهر زيادة من سنة إلى أخرى ، فإن التفاصيل الواردة في البيانات تظهر أن كندا قد زادت من حجم احتياطياتها

النفطية أربعة أضعاف تقريباً من 1998 إلى 1999 نتيجة لقرار إدراج رمال القار في الأرقام ؛ وبالمثل فإن إدراج رمال القار Orinoco في احتياطيات فنزويلا أدى إلى إظهار هذا البلد زيادة مضاعفة تقريباً من 2007 إلى 2008 . في كلتا الحالتين كانت الموارد معروفة لسنوات عديدة قبل أن يتم اعتبارها في أرقام الاحتياطيات وكان من المقرر إدراجها ببساطة إلى الموارد التي تنتقل من المورد إلى فئة الاحتياطي. الثاني - أدى ارتفاع أسعار النفط في القرن الحادي والعشرين (حتى عام 2014) في جميع البلدان إلى تحويل الموارد إلى احتياطيات.

منذ ورقة هوبرت الأصلية لعام 1956 فإن الشيئين اللذين يريد الجميع معرفتهما هما: ما هي كمية النفط الموجودة؟ ومتى يستحيل زيادة انتاج النفط؟ ويستمر الجدل الذي انضم إليه هوبرت في عام 1956 حتى اليوم . في الجداول الإحصائية السنوية لشركة بريتيش بتروليوم فإن العام 2015 هو العام الأول الذي يظهر انخفاضاً طفيفاً في احتياطيات النفط. ولكن حتى تكون هناك عدة سنوات أخرى من البيانات فإنه لن يكون من الواضح ما إذا كان هذا الانخفاض ناتجاً عن انخفاض أسعار النفط في عام 2015 الذي يتطلب إعادة تصنيف البعض من الاحتياطيات إلى مجرد كونها مورد، أو ما إذا كانت الاكتشافات لأول مرة غير كافية لتحل محل الإنتاج.

هناك عدد من النقاط المهمة التي يتم تجاهلها بعامة، الأولى: هي أنه حتى لو بلغ إنتاج النفط الحالي ذروته النهائية، فإن هناك مصادر نفط غير تقليدية كافية لتلبية الاحتياجات الفورية، وإن كان ذلك يتم بأسعار أعلى . إن ما هو غير واضح هو ما إذا كان يتم الاستثمار المطلوب لاستخدام من مثل هذه الموارد على المدى المتوسط ، وكيفية معالجة المشكلة طويلة الأجل التي لا يمكن أن يتم تزويد النمو الأسي بمورد لا ينمو بشكل كبير- وليس محدوداً، وأن الموارد يمكن تنمو أضعافاً مضاعفة، لقد كانت تلك هي النقطة الأصلية لهوبرت وهي لا تزال صالحة تماماً.

فهل هناك حل لمسألة ما إذا كنا قد وصلنا إلى ذروة النفط في عام 2016؟ ليس صحيحاً وكما هو مكتوب فقد ارتفعت أسعار النفط إلى حد ما منذ أدنى مستوى لها في عام 2015، ولكن لا تزال هناك مخاوف كبيرة بشأن ما إذا كانت معظم المشاريع النفطية الجديدة ستكون اقتصادية ما لم تستمر أسعار النفط في الارتفاع. ينتج عن النشاط والتطورات التي تشجعها هذه الأسعار المرتفعة نفطاً باهظ الثمن (قيم عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة EROI منخفضة)، مما يشير إلى الوصول إلى ذروة الإنتاج التقليدي، لكن تقلبات الأسعار في العامين الماضيين تشير أيضاً إلى أنه يجب تضمين أكثر من مجرد جيولوجيا بسيطة للإجابة على هذا السؤال، وهو ما ستستكشفه الفصول التالية.

الفَصْلُ الخَامِسُ

الطـاقـة في الاقتصـاد

إن الطاقة ليست من مثل الموارد الأخرى، ويتم استهلاك الطاقة سواء أتم استخراجها كفحم أم كمنتج آبار من مثل النفط أو الغاز الطبيعي أم تم إطلاقها في مفاعل نووي أم تم التقاطها بواسطة الألواح أو طواحين الهواء. بتعبير أدق فإن الطاقة - التي تعلمناها جميعاً لم يتم إنشاؤها أو تدميرها - بل هي تتغير من شكل أكثر تركيزاً إلى شكل أكثر انتشاراً . يحتوي الوقود الأحفوري على طاقة مخزنة كيميائياً، وعندما يتم حرق الوقود الأحفوري فإنه يتم تحويل هذه الطاقة الكيميائية إلى طاقة حرارية.

5-1: البعض من الديناميكا الحرارية الأساسية

إن دراسة تدفق الطاقة هو علم الديناميكا الحرارية thermodynamics، وحرفياً فإن «تدفق الحرارة» يقع في قلب جميع الأنظمة الديناميكية[1]، تعتمد الأرض ومحيطاتها والقمم الجليدية والأنهار والنظم البيئية والنباتات والحيوانات جميعها على التدفقات الطاقة، وكذلك فإن «الاقتصاد» أيضاً هو ما يسمح لنا بالحصول على أسلوب حياة مختلف تماماً عن أسلافنا الذين كانوا يعتمدون على الصيد وجمع الثمار. إن القانونين الأول والثاني للديناميكا الحرارية مهمان بخاصة للطريقة التي تتحرك بها الطاقة ومن ثم النفط عبر الاقتصاد . ينص القانون الأول المسمى أيضاً قانون حفظ الطاقة على أن الطاقة

(1) يتم تناول موضوع الديناميكا الحرارية في العديد من الكتب المدرسية والموارد عبر الإنترنت. المراجع الرئيسية التي تم الرجوع إليها في هذه المناقشة هي: جالوتشي Gallucci في عام 1973 ولارسن Larsen في عام 2014.

لا تُفنى ولا تُستحدث ولكن يمكن تحويلها من شكل إلى آخر، ومع تطور العلم الحديث في القرنين السابع عشر والثامن عشر أصبح الحفاظ على أشكال الطاقة المختلفة أكثر وضوحاً، لكن لم يكن واضحاً على الفور أن الأشكال المختلفة للطاقة كانت في الواقع الكيان المادي نفسه، وبخاصة فقد تم تأسيس معادلة الحرارة والطاقة الميكانيكية فقط في أواخر القرن الثامن عشر جزئياً من خلال القدرة على مراقبة التحويل من شكل إلى آخر في أثناء تصنيع الشرائع (أو القوانين) الفيزيائية.

يتضمن القانون الثاني للديناميكا الحرارية ما يعرف بـالانتروبيا entropy الذي ينص على أن الأنتروبيا لا يمكن أن تنقص[1]، والسؤال الذي يتبادر إلى أذهاننا الآن هو ما هي الانتروبيا؟ والجواب هو: إنها كمية الطاقة غير الصالحة للاستعمال الموجودة في مادة ما عند درجة حرارة معينة، وبشكل أكثر بساطة ينص القانون الثاني على أن كمية الطاقة القابلة للاستخدام يمكن فقط أن تنخفض.

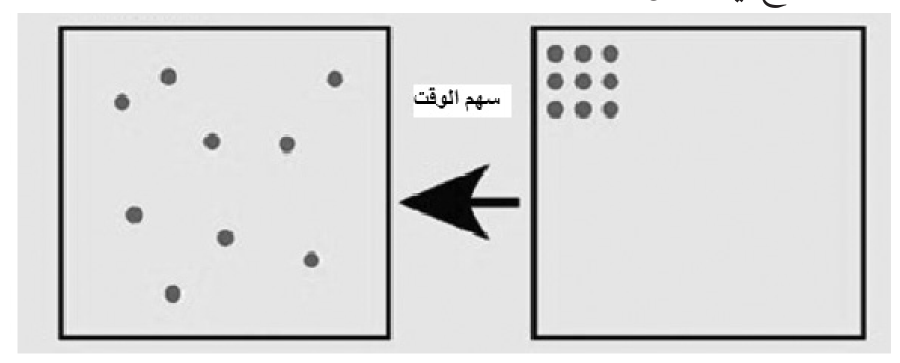
هذا هو السبب في أننا نفكر في الطاقة على أنها مُستهلَكَة، وعلى الرغم من أن القانون الأول ينص على أنها ليست كذلك، ولكننا عندما «نستخدم» الطاقة فإننا نحولها من شكل قابل للاستخدام إلى شكل غير قابل للاستخدام، إن الشكل الذي لا يمكن استخدامه هو الحرارة التي نطلقها في البيئة، فإذا كنت في غرفة كبيرة ويوجد فيها كوب من الماء الساخن، فإن الماء الساخن سيبرد مع تدفق الحرارة من الكوب إلى باقي الغرفة. يمكن في البداية أن تسلق حرارة الماء البيضة ولكن بعد أن يبرد كوب الماء فإنه لا يمكنها فعل ذلك، لم تتغير الحرارة الإجمالية في الغرفة لكنها تبددت في مساحة أكبر بكثير مما يجعلها غير صالحة للاستعمال. إن الطاقة قبل وبعد هي نفسها (القانون الأول)، ولكن في السابق كان هناك البعض من الطاقة الصالحة للاستخدام، وفيما بعد فإن هناك وجوداً لطاقة غير صالحة للاستعمال فحسب (القانون

(1) نتعلم القانون الثاني في وقت جد مبكر من الحياة ؛ قافية الحضانة هامبتي دمبتي Humpty Dumpty هي إحدى مفاصل القانون الثاني.

الثاني)، ونظراً لوجود المزيد من الطاقة غير الصالحة للاستخدام بعد ذلك فقد إزدادت الانتروبيا، وفي داخل الغرفة فإنه لا يمكننا إعادة تلك الطاقة إلى شكل قابل للاستخدام مرة أخرى، وذلك نظراً لأن الانتروبيا لا يمكن أن تنخفض مُطلقاً ويطلق عليها أحياناً تسمية «سهم الوقت» time's arrow.

يوضح مثال كوب الماء في الغرفة أيضاً نقطتين إضافيتين حول الديناميكا الحرارية، الأولى: هو أن تجربتنا الفكرية لكوب الماء الساخن في الغرفة تتضمن تدفقاً للحرارة حتى تتوزع الحرارة بالتساوي في الغرفة ولا يتدفق المزيد من الحرارة وهذه هي حالة توازن. أما النقطة الثانية فهي أن النظام لا يمكن أن يصل إلى التوازن إلا إذا كان لدينا حدود تمنع أي شيء من الدخول أو المغادرة، وفي القرنين الماضيين تقريباً منذ أن تم وضع المبادئ الأساسية للديناميكا الحرارية لأول مرة فقد أثبت التحليل الديناميكي الحراري أنه تفسير قوي للعمليات الفيزيائية والكيميائية.

عندما يتم النظر في الديناميكا الحرارية على المستوى الجزيئي، فقد وجد أن الانتروبيا مرتبطة بكمية الاضطراب بين ذرات وجزيئات المادة أو النظام قيد الدراسة، وأن القول بأن الانتروبيا هي مقياس للاضطراب هو بالتالي أمر مفيد، وعلى الرغم من أنه ربما يكون مفرطاً في التبسيط لفهم مفهوم الانتروبيا، وهذا موضح في الشكل 5-1.



الجدول 5 - 1 : جزيئات مرتبة وغير مرتبة في المربع (Nave 2000)

هنا يثار التساؤل الآتي: هل هناك أي طريقة لتقليل الإنتروبيا؟ والجواب هو نعم هناك، وهي تحدث طوال الوقت، مثال على ذلك هو كوب الماء الساخن. والسؤال هو كيف أصبح ساخناً؟ إن الإجابة المختصرة هي أننا أضفنا إليها الحرارة أي الطاقة . في التحليل فإن كل ما نقوم به والذي يتطلب طاقة هو إنشاء منطقة محلية ذات إنتروبيا أقل على حساب زيادة إنتروبيا نظام آخر؛ وأنه ستتبدد هذه المنطقة المحلية ذات الانتروبيا المنخفضة بمرور الوقت، وتزداد في الإنتروبيا حيث تنتشر طاقتها في المناطق المحيطة وتصبح غير صالحة للاستعمال.

استطراد قصير: المصطلحات المستخدمة للأنظمة الديناميكية الحرارية

إن الديناميكا الحرارية هي وصف مجهري للتغييرات، إن الجزء الذي يتم فحصه من الكون هو النظام، وكل شيء آخر هو المحيط، ويتم فصل النظام عن محيطه بحدود.

- إن النظام المعزول لا طاقة ولا مادة تعبر حدوده.
- إن النظام المغلق يسمح للطاقة عبر حدوده ، ولكن لا يهم.
- إن النظام المفتوح يسمح لكل من المادة والطاقة بالتدفق إلى الداخل أو الخارج.
- يكون النظام في حال توازن عندما لا تحدث تغييرات أخرى.

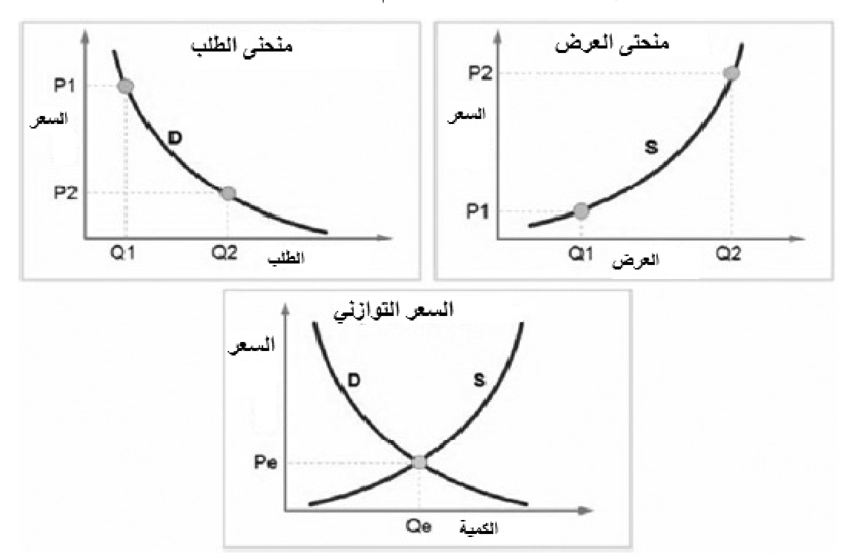
وأن هذا سهل الفهم لنظام معزول.

يمكن أيضاً أن تكون الأنظمة المغلقة والمفتوحة في حالة مستقرة ، أي عندما يكون التدفق المستمر للطاقة مطلوباً للحفاظ على الخصائص الأخرى في حالة غير متغيرة، وعلى سبيل المثال، لا يمكن تحقيق حالة الثبات للثلاجة عند درجة حرارة 5 مئوية إلا من خلال الطاقة المستخدمة للحفاظ على برودة الثلاجة، ولتجنب الخلط بين حالة الحالة المستقرة وحالة التوازن ، افحص ما إذا كان تدفق الطاقة ضرورياً لمنع أي تغيير.

إن ردة الفعل القابلة للعكس هي التي وكما تدل الكلمة يمكن عكسها. على سبيل المثال: في نظام مغلق نلاحظ أن الجليد يذوب عندما ترتفع درجة الحرارة، ثم يتجمد مرة أخرى عندما تنخفض درجة الحرارة.

إن ردة الفعل غير القابلة للعكس هي التي لن تسير (على الأقل ببساطة) في الاتجاه المعاكس. على سبيل المثال ، إذا وضع أحدهم ملعقة صغيرة من بلورات الملح الصلبة في حمام السباحة فسوف تذوب؛ لن ينتج عن أي تغيير بسيط في الماء الذي يحتوي على الملح المذاب ملعقة صغيرة من البلورات الصلبة.

لاحظ أن مثالنا الديناميكي الحراري لكوب الماء الساخن في غرفة له بُعد زمني فحسب حتى يصبح الماء والغرفة بنفس درجة الحرارة، أي في حالة توازن. مرة واحدة في التوازن فإن النظام مستقل عن الوقت [1].



الشكل 5-2 : الطلب والعرض وتحديد السعر على أنه الحالة المستقرة بين الاثنين

(Rodrigue 2013)

(1) إن القول بأن التوازن في غرفتنا سوف لن يتغير هو ليس صحيح تماماً فعلى مدى مليارات السنين ، حيث سيستهلك المفاعل النووي للشمس كل وقوده وسيبرد النظام الشمسي إلى درجة حرارة جد قريبة من الصفر المطلق - مما يزيد من إنتروبيا الكون كما يفعل .

بالتوازي مع تطور قوانين الديناميكا الحرارية في القرن التاسع عشر، كان الاقتصاديون يبحثون أيضاً عن التوازن. إن المفهوم الأساس الذي تم تدريسه في علم الاقتصاد الجزئي هو أن كلاً من العرض والطلب يختلفان بشكل مستمر فيما يتعلق بالسعر والكمية، وهذان الاثنان يجدان توازنهما حيث يلتقيان، وكما هو موضح في الشكل 5-2 بينما يعتبر الاقتصاديون هذا توازناً، إلا أنه في الواقع هو حالة مستقرة.

طور الاقتصاديون نماذج التوازن هذه في النصف الأخير من القرن التاسع عشر، وذلك باستخدام الأدوات الرياضية نفسها التي استخدمها الفيزيائيون في دراسات توازن الطاقة، وبعامة فإنه يُعرف بإسم «الاقتصاد الكلاسيكي الجديد» neoclassical economics ولقد ظل نهج التوازن هذا لفهم الاقتصاد مركزياً لكثير من النظرية الاقتصادية حتى يومنا هذا، ولقد كان الاقتصاديون الثلاثة [1] الذين طوروا النهج الكلاسيكي الحديث بوعي ذاتي تماماً في محاولاتهم جعل الاقتصاد علماً يحظى باحترام الفيزياء . لقد كان فالراس Walras في عام 1874 حريصاً وبخاصة على أن يكون قادراً على جلب الدقة الرياضية للفيزياء إلى المشكلات الاقتصادية (Beinhocker 2006)، وعلى الرغم من أن جيفونز Jevons كان قد نشر بالفعل كتابه : نظرية رياضية عامة للاقتصاد السياسي A General Mathematical Theory of Political Economy في عام 1862، وسواء أكان في الفيزياء أم الكيمياء أم علم الاقتصاد فإن حالة التوازن هي الأبسط ومن ثم فإن رياضيات التوازن هي الأكثر قابلية للتتبع.

لكن العالم الطبيعي ليس في حالة توازن، وأن ما قد يبدو للوهلة الأولى أنه توازن هو بشكل عام حالة مستقرة، إن التشبيه هو جسم الإنسان. إن الإنسان البالغ قد يبدو شكله في اليوم نفسه بعد يوم أو حتى عاماً بعد عام لكنه ليس في حالة توازن مع البيئة، وبدلاً من ذلك يقوم هو أو هي بمعالجة تدفقات الهواء والغذاء (الطاقة المخزنة كيميائياً) والماء باستمرار، وبالمثل فإنه

(1) إن الثلاثة هم على التوالي : جيفونز Jevons في إنجلترا ، وفالراس Walras في فرنسا ، ومينجر Menger في النمسا.

يتم تزويد نظام بيئي كامل بالطاقة (ضوء الشمس بشكل أساس) والمغذيات والماء، وكلها تتدفق عبر النظام[1]. إن وصف التوازن مفيد وذلك لأنه يشير إلى الاتجاه الذي ستحدث فيه التفاعلات، لكنه مجرد اتجاه، وفي حالة الاستقرار فإنه لا يتم الوصول إلى حالة التوازن أبداً.

2-5: أنظمة الطاقة

إن الاقتصاد متشابه، إنه نظام ديناميكي يعالج باستمرار المدخلات المختلفة لتوفير المخرجات التي نقدرها ونقيسها على أنها إجمالي الناتج المحلي، وعندما يفكر المرء في أي نشاط اقتصادي من مثل - التعدين والشحن والطهي والعمل والترفيه والتفكير في أي شيء - فإن انعكاساً قصيراً سيؤكد أن النشاط يستخدم الطاقة . حتى الأسواق المالية التي قد تبدو للوهلة الأولى خالية من مدخلات الطاقة فإنها تحتاج إلى طاقة، إذ تتطلب الأسواق المالية البيانات التي يتم معالجتها فيما بعد، وأن جمع البيانات يتطلب طاقة حتى ولو كانت بكميات صغيرة من الكهرباء لتخزين البيانات مباشرة في الكمبيوتر، وبالإضافة إلى الطاقة التي يتم استخدامها بشكل مباشر فإن هناك الطاقة التي يستخدمها مختلف البشر في جمع من مثل هذه البيانات ومعالجتها، وفي التفسير واتخاذ القرار، باختصار فإن كل نشاط اقتصادي يتطلب طاقة.

ينتج عن تدفق الطاقة من خلال النظام زيادة في الانتروبيا، ولهذا السبب فإننا نشعر بالحرارة والعرق عندما نمارس الرياضة، إذ تحافظ أجسامنا على التوازن بين الطاقة التي نتناولها والطاقة الأقل قابليةً للاستخدام التي نعيدها إلى البيئة، وبالمثل تحافظ الأرض على التوازن بين الطاقة عالية الجودة التي تتلقاها من الشمس والطاقة الحرارية منخفضة الدرجة التي تنبعث منها مرة أخرى إلى الفضاء الخارجي . على عكس نظام التوازن المغلق سيحتاج ناتج نظام الحالة المستقرة المفتوح إلى القدر نفسه من الطاقة اليوم كما كان بالأمس، وسيحتاج إلى المقدار نفسه مرة أخرى غداً، وهذا ينطبق على الاقتصاد العالمي

(1) أنظر في (Hall and Klitgaard 2012) لمناقشة مستفيضة لتدفقات الطاقة عبر النظم البيئية.

تماماً كما ينطبق على الجسم البشري أو على الأرض كلها. فإذا كان الاقتصاد ينمو فإنه سوف يحتاج إلى الطاقة للحفاظ على حالته المستقرة بالإضافة إلى مبالغ إضافية للنمو، وبسبب القانون الثاني فإن كل استخدام الطاقة هذا سيصبح غير متوافر وستكون هناك زيادة في الإنتروبيا.

أدرك الاقتصادي نيكولاس جورجيسكو- روجن Nicholas Georgescu-Roegen أن الاقتصاد كان حالة مستقرة وليس نظام توازن، ويمثل كتابه الصادر في عام 1971 قانون الانتروبيا والعملية الاقتصادية وجهة نظر مختلفة تماماً للاقتصاد عن تلك الخاصة بالنماذج الاقتصادية الكلاسيكية الحديثة أو الكينزية التي تركز على حالات التوازن الاقتصادي [1][6]، ولقد اعتبر أن هذه القيمة يتم إنشاؤها بواسطة عمليات ديناميكية حرارية لا رجعة فيها، أي من خلال العمليات التي تزيد من الانتروبيا . في دراسة العملية الاقتصادية من منظور ديناميكي حراري، يجادل جورجيسكو روجين بأنه ليست كل عملية تخلق الإنتروبيا هي عملية اقتصادية؛ بدلاً من ذلك ولخلق قيمة اقتصادية فإنه يجب أن تكون العملية غير قابلة للعكس، وأن تخلق منطقة محلية ذات إنتروبيا منخفضة، وأن العملية يجب أن تخلق شيئاً يقدره البشر[2][7].

3-5: النظم البيئية

إن رؤية الاقتصاد على أنه نظام الحالة المستقرة وليس كنظام توازن هي قفزة كبيرة في آفاق العديد من الاقتصاديين، قد يكون من الأسهل فهم وجهة النظر عن طريق القياس وذلك من خلال النظر في البعض من المفاهيم في النظم البيئية التي تم تطويرها على مدى نصف القرن الماضي[3][8]. تستخدم النباتات التمثيل الضوئي للعيش؛ تعالج النباتات المواد في بيئتها وبشكل عام

(1) (Georgescu-Roegen 1971).

(2) يقدم بينهوكر Beinhocker في عام 2006 ملخصاً لأفكار جورجيسكو روجين .

(3) هناك نصوص كثيرة في علم البيئة، ولمزيد من التفاصيل انظر في :

- Fundamentals of Ecology (5th edition E. Odum and Barrett 2005)
- The Systems View of Life (Capra and Luisi 2014)

اللذين يعطيان المزيد من العلاجات الكاملة للموضوع.

فهي تحصل على المعادن من التربة والكربون على شكل ثاني أوكسيد الكربون من الغلاف الجوي، ومع الطاقة من الشمس لتكوين كائن حي منخفض الانتروبيا. يمكننا أن نرى أن النبات هو جزيرة منخفضة الإنتروبيا عندما يموت وذلك لأنه يتحلل . تأكل الحيوانات العاشبة النباتات؛ وتأكل الحيوانات آكلة اللحوم الحيوانات العاشبة : وفي كل حالة فإن الحيوان يستخدم طعامه كمصدر للطاقة التي يستخدمها من أجل الحفاظ على نفسه ككائن حي . في كل نقطة في السلسلة الغذائية يكون المستهلك عبارة عن جزيرة منخفضة الانتروبيا، ويحافظ على حالة الانتروبيا المنخفضة هذه من خلال الطاقة المضمنة في الطعام الذي يتم تناوله، فضلاً عن ذلك فإن كل خطوة من العملية تخلق البعض من الانتروبيا، ومن ثم فإن إجمالي كمية الطاقة اللازمة تزداد كلما تقدم المرء في السلسلة الغذائية، وعندما يتلاشى مصدر الطاقة فإنه لم يعد بإمكان الكائن الحي البقاء على قيد الحياة.

من السهل إلى حد ما إظهار أن التلوث في البيئة والإنتروبيا مرتبطان بعضهما البعض، فالغذاء هو مصدر للطاقة ولكنه إذا لم يؤكل فإنه سيتحول إلى قمامة ويبدأ في التحلل، ومن مثل الملح المذاب في الماء أو الدخان من المدخنة فإن هذا التحلل يشتت الطاقة في الغلاف الجوي، ومن ثم فإن أفكار جورجيسكو روجن تلقى استحسان معظم دعاة حماية البيئة وعلماء البيئة . كان استقباله بين أقرانه الاقتصاديين أكثر تفاوتاً، إذ تستند معظم الحجج الاقتصادية ضد نهج جورجيسكو روجين إلى وجهة نظر العالم الكلاسيكية الحديثة التي كما لاحظنا تنظر إلى الاقتصاد على أنه نظام توازن بدلاً من نظام حالة مستقرة.

4-5: قياس الاقتصاد

مهما كانت التوقعات فإننا بحاجة إلى طرائق لقياس الاقتصاد، وأن المقياس الأكبر المعتاد هو الناتج المحلي الإجمالي Gross Domestic Product الذي يشار اليه اختصاراً بـGDP، الذي تم تقديم تعريف عملي موجز له من قبل الوكالة الحكومية التي تقيسه للولايات المتحدة الأمريكية، ووفقاً لـ مكتب التحليل

الاقتصادي BEA [1]، فإن الناتج المحلي الإجمالي هو «ناتج السلع والخدمات التي تنتجها العمالة والممتلكات الموجودة في الولايات المتحدة»[2]. وهناك عدد من المشاكل المتعلقة بهذا التعريف منها على سبيل المثال: هل يجب علينا تضمين العمل المتضمن في خدمات من مثل رعاية الأطفال أو رعاية الوالدين المسنين بدلاً من احتساب العمالة فحسب عندما ندفع مقابل هذه الخدمات؟ وهناك قيمة إشكالية أخرى كبيرة في حالة الولايات المتحدة، وهي «الإيجار المفترض» الذي لا يتعين على مالك المنزل دفعه نقداً من أجل العيش في منزل يمتلكه[3]، لاحظ أن كلًا من صناعة الأسلحة والصحة رعاية الجنود الجرحى أنهما إضافات إيجابية إلى الناتج المحلي الإجمالي، وعلى الرغم من الشك المزعج في أنه يجب أن يكون لديهم بطريقة ما إشارات معاكسة؛ كما توجد المشكلة نفسها بالنسبة لتكاليف التطهير البيئي والنشاط الصناعي الذي أدى إلى المشكلة البيئية في المقام الأول.

حقيقة أن تكلفة التنظيف البيئي والنشاط الذي تسبب في الحاجة إلى التنظيف يساهمان في الناتج المحلي الإجمالي لأن كلاهما يستخدم الطاقة، وفي كلتا الحالتين ينتج عن استخدام الطاقة زيادة في الانتروبيا، يؤكد هذا المثال ببساطة أنه يمكن النظر إلى الاقتصاد على أنه تدفق للطاقة.

يؤدي الجمع بين الناتج المحلي الإجمالي من بلدان مختلفة إلى أسئلة حول كيفية تضمين التجارة وما هي أسعار الصرف التي يجب استخدامها (على سبيل المثال : الاسمية وتعادل القوة الشرائية PPP)، لا سيما في البلدان التي

(1) مكتب التحليل الاقتصادي بوزارة التجارة الأمريكية.

(2) التعريف كما هو وارد في البيان الصحفي لمكتب التحليل الاقتصادي BEA لرقم الناتج المحلي الإجمالي للربع الثاني من عام 2014 .

http:// bea.gov/newsreleases/national/GDP/GDPnewsrelease.htm

تم الوصول للموقع في2014/09/10 .

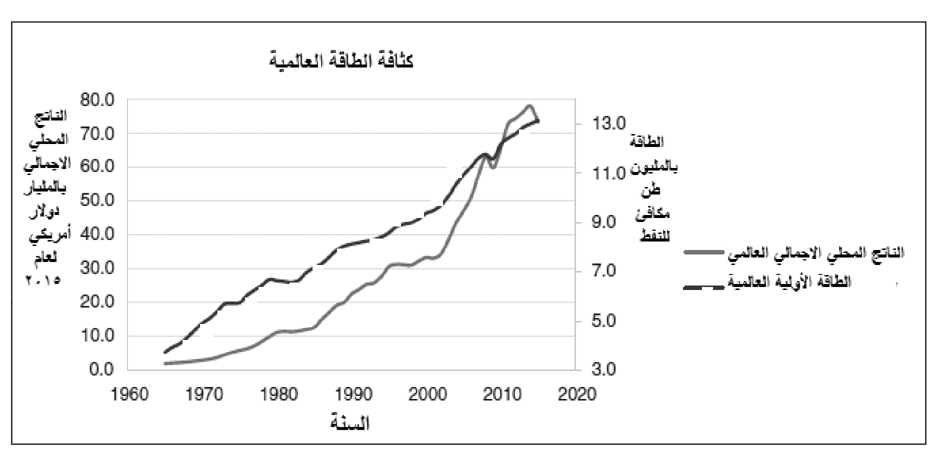
(3) في الولايات المتحدة يتم تضمين الإيجار المحتسب في حساب الناتج المحلي الإجمالي.

لديها أسعار صرف ثابتة. أخيراً فإن مقارنات الناتج المحلي الإجمالي من سنة إلى أخرى تثير أسئلة إضافية حول كيفية تغير الأموال الأساسية من سنة إلى أخرى، وعادة ما يتم تعديل القيم من خلال بعض مؤشرات التضخم، ولكن هذه المؤشرات والتعديلات لا تقل إشكالية عن حساب الناتج المحلي الإجمالي الفردي . فضلاً عن ذلك فإن أية مشكلة تتعلق بمؤشر التضخم تميل إلى التعقيد على غرار الفائدة المركبة، لذا فإن أرقام الناتج المحلي الإجمالي التي يتم نشرها على نطاق واسع في الأخبار المالية تعطي فكرة عما يحدث، لكنها ليست قياسات دقيقة ويجب أن تؤخذ على أنها مؤشر تقريبي للنشاط الاقتصادي، وبخاصة عند النظر إليها على مدى فترة زمنية، لكن مع ذلك فإن الناتج المحلي الإجمالي وعلى الرغم من كل عيوبه إلا أنه أفضل رقم متاح، لذا فهو عادة ما يتم استخدامه.

5-5: الطاقة والاقتصاد

نحن الآن في وضع يسمح لنا بفحص العلاقة بين استخدام الطاقة والناتج المحلي الإجمالي بسهولة أكبر، وفي أثناء قيامنا بذلك فإننا نحتاج إلى أن نضع في اعتبارنا أن العديد من المبادئ الاقتصادية ستشير فحسب إلى الاتجاه الذي ستحدث فيه التغييرات، وذلك بالنظر إلى أنه لن يتم الوصول إلى حالة التوازن.

إن العلاقة الأولى بين الطاقة والناتج المحلي الإجمالي هي أنهما مترابطان؛ إذ يرتبط ارتفاع إنتاج الطاقة العالمي بارتفاع الناتج المحلي الإجمالي العالمي، وهذا أمر متوقع وذلك بالنظر إلى أن الاقتصاد (الناتج المحلي الإجمالي) هو حالة مستقرة في أي وقت . سيستخدم الاقتصاد الصغير في حالة مستقرة صغيرة طاقة أقل من الاقتصاد الكبير في حالة مستقرة كبيرة، وتكون جميع الأشياء الأخرى متساوية، لذلك فإنه مع نمو الاقتصاد من حالة مستقرة إلى أخرى، ستزداد أيضاً كمية الطاقة المستخدمة، تظهر هذه العلاقة في الشكل 5-3.

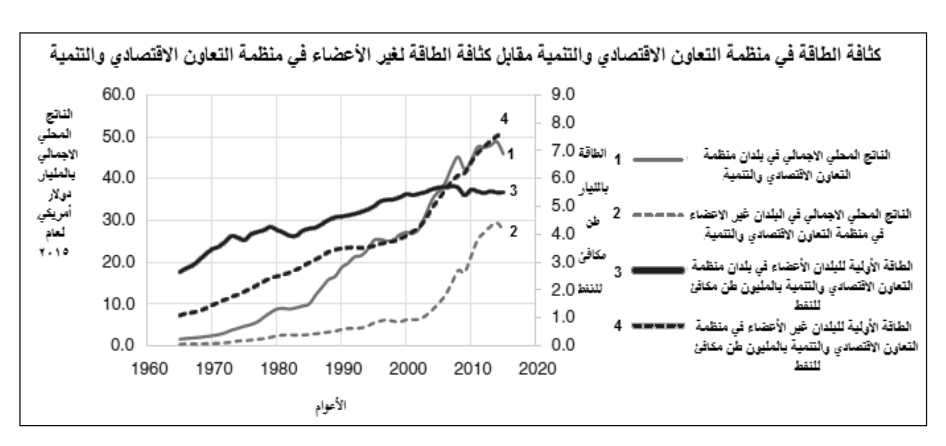


الشكل 5-3 : كثافة الطاقة العالمية

Data sources: World Bank 2016, and BP Statistics 2016

عندما لا تكون الخطوط متوازية تماماً، فهذا يعني أن الطاقة يتم استخدامها بشكل أكثر أو أقل كفاءة في الحفاظ على الحالة المستقرة، لذا فإن الشكل 5-3 يوضح أنه منذ عام 2000، حدث البعض من التحسن في الكفاءة الكلية للطاقة، أي زيادة الناتج المحلي الإجمالي لكل وحدة طاقة، ويُشار إلى نسبة الطاقة إلى الناتج المحلي الإجمالي بشكل أكثر ملاءمة باسم «كثافة الطاقة".

يوضح الشكل 5-4 هذه العلاقات نفسها بشكل منفصل لدول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية والدول غير الأعضاء فيها، وهنا نرى أن مكاسب الكثافة كانت بالكامل في اقتصادات منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (أي المتقدمة) (الخطوط غير المتقطعة)، وفي الاقتصادات المتقدمة استمر الناتج المحلي الإجمالي في الزيادة منذ عام 2000 بينما كانت الطاقة الأولية في هذه الاقتصادات ثابتة تقريباً خلال هذه الفترة . لكن كثافة الطاقة المحسّنة هذه في بلدان منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية يقابلها اتجاه متدهور في البلدان غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (خطوط متقطعة) حيث يتزايد استخدام الطاقة الأولية بنفس سرعة الناتج المحلي الإجمالي على الأقل.

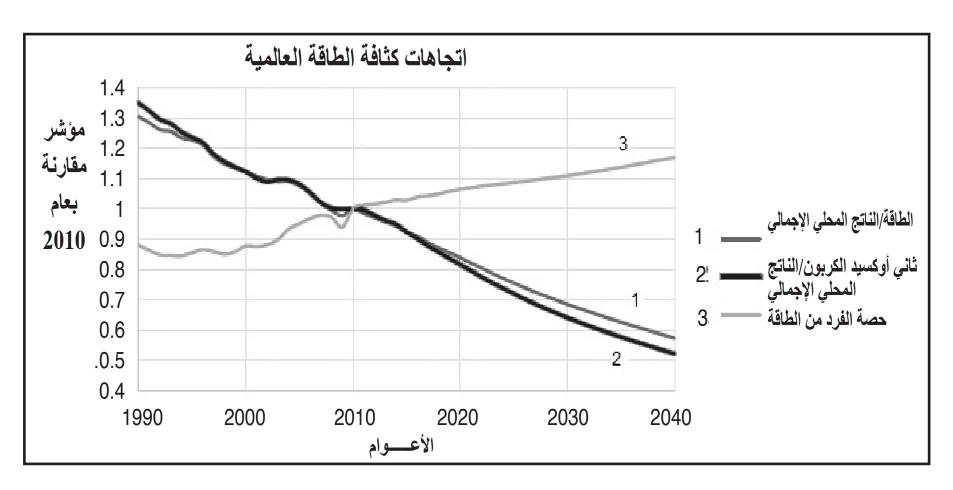


الشكل 5-4 : كثافة الطاقة في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (الخطوط غير المنتظمة) وكثافة الطاقة في البلدان غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (الخطوط المنتظمة)

(**Data sources:** World Bank 2016, and BP Statistics 2016)

تحدد العولمة وهي مزيج من قواعد التجارة والاتصالات الجيدة والنقل المحسن نظام الدولة المفتوحة. وهذا يتطلب أن يتم النظر إلى مقاييس كثافة الطاقة من منظور عالمي؛ ومن ثم فإنه يجب أيضاً النظر إلى التلوث والزيادات الأخرى في الكون من منظور عالمي.

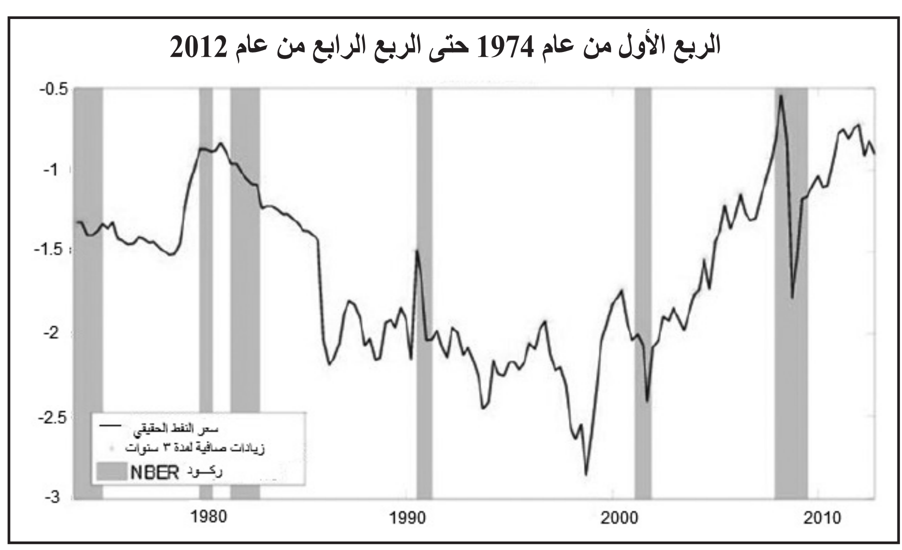
يوضح الشكل 5-5 ثلاث حسابات مختلفة لكثافة الطاقة في العالم: الطاقة المستخدمة لكل وحدة من الناتج المحلي الإجمالي؛ ثاني أوكسيد الكربون المنبعث لكل وحدة من الناتج المحلي الإجمالي؛ والطاقة المستخدمة للفرد(حصة الفرد من الطاقة المستخدمة)، ونظراً لأن معظم الطاقة في الاقتصاد يتم الحصول عليها عن طريق حرق الوقود الأحفوري، فإن مقارنة الطاقة وثاني أوكسيد الكربون بالنسبة إلى الناتج المحلي الإجمالي جد متشابهة . تعكس الزيادة في نصيب الفرد من الطاقة مستويات المعيشة المحسنة، لكن النسب تخفي القيم المطلقة، ويمكن أن يرجع انخفاض كثافة الطاقة أو ثاني أوكسيد الكربون إلى زيادة الناتج المحلي الإجمالي بدلاً من تقليل استخدام الطاقة أو الانبعاثات، ومن ثم فإن الشكل 5-5 لا يقول أن الكميات المطلقة للطاقة المستخدمة وانبعاثات ثاني أوكسيد الكربون في عام 2040 ستكون أقل مما هي عليه الآن.



الشكل 5-5 : اتجاهات كثافة الطاقة العالمية

يمكن رؤية علاقة أخرى بين الطاقة والناتج المحلي الإجمالي في العلاقة بين سعر الطاقة والناتج المحلي الإجمالي، ومن نموذج العرض والطلب الاقتصادي الكلاسيكي فإن المرء يتوقع أنه عندما يرتفع السعر سينخفض الطلب وسيرتفع العرض حتى يتم الوصول إلى توازن جديد، ولكن عند العودة إلى نماذجنا الاقتصادية فإنه من المحتمل أن يكون هناك تأخير كبير في الوقت حتى تصبح الإمدادات الجديدة متاحة . سيكون التأثير الفوري هو أنه سيتم بيع طاقة أقل بالسعر الأعلى، ولأن الطاقة والناتج المحلي الإجمالي مترابطان فإن زيادة الأسعار ستؤدي إلى انخفاض الناتج المحلي الإجمالي - الركود.

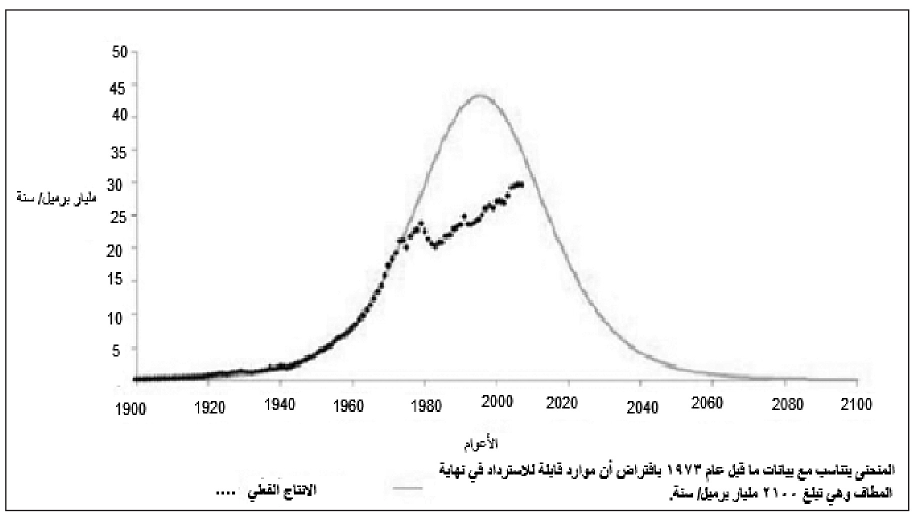
قام صندوق النقد الدولي IMF برسم أسعار النفط والركود الاقتصادي، مما يدل على أن حالات الركود ترتبط في كثير من الأحيان بارتفاع أسعار النفط إما قبل الركود أو في بدايته، وبخاصة فإنه يمكن رؤية الزيادات في الأسعار المرتبطة بسقوط شاه إيران في عام 1979 وحرب الخليج في عامي 1990-1991 في الشكل 5-6 الذي يرسم البيانات من 1974 إلى 2012.



الشكل 5-6 : ارتفاع أسعار النفط والركود

(Kilian and Vigfusson 2014)

ارتفعت أسعار النفط منذ عام 1971 حتى عام 1980 من 3.60 دولار أمريكي إلى 37.40 دولار أمريكي للبرميل وذلك بزيادة تزيد على 10 أضعاف، لقد تكيف الاقتصاد مع هذه الزيادة ولكن ببطء، قد يكون من الصعب تحديد السبب والنتيجة، فالسياسة النقدية والائتمانية مهمة أيضاً (Kilian and Vigfusson 2014) . مهما كان سبب (أسباب) الركود فإن هناك تعقيدات إضافية فيما يتعلق بأسواق النفط، فعلى سبيل المثال أدت الزيادة في عمليات الاستكشاف التي نتجت عن ارتفاع الأسعار خلال عقد السبعينات من القرن الماضي إلى تخمة في الإنتاج في العقد الذي يليه (الثمانينات)، ويبدو أن أسعار النفط المرتفعة في السبعينات كانت قد غيرت بشكل دائم مسار ذروة النفط وكما هو موضح في الشكل 5-7.



الشكل 5-7 : منحنى الإنتاج النفطي

(Bentley et al. 2009)

إن المشكلة للمخططين الاقتصاديين ومن ثم للسياسيين هي ذات شقين: الأول هو حقيقة أنه مع استهلاك المورد المحدود للنفط ترتفع التكلفة الحدية للإمدادات الجديدة، والثاني هو حقيقة أن الأطر الزمنية لمشروع الطاقة تجعل أي تعديل سريع للوضع الجديد لهذه المشاريع صعباً في أحسن الأحوال.

5-6: صافي الطاقة وعائد الطاقة على الاستثمار EROI

إن هوبرت الذي جاء بنظرية ذروة النفط قد أشار إلى أنه لا توجد شركة ستنتج برميلاً من النفط إذا تم استهلاك أكثر من برميل لإنتاجه (Hubbert 1982)، وهذا الأمر في جوهره هو تعريف «صافي الطاقة» (Peet and Baines 1986).

صافي الطاقة= الطاقة المنتجة- تكلفة الطاقة

لجعل أرقام الطاقة الصافية قابلة للمقارنة فإنه يجب أن يتضمن جزء التكلفة ثلاثة مكونات هي: 1 - الطاقة المستخدمة في تطوير مصدر الطاقة، 2 - الطاقة المستخدمة في العمليات الجارية، 3 - الطاقة اللازمة لإيقاف التشغيل في نهاية المطاف . يتم الحساب بوحدات الطاقة للنفط بشكل عام

بالبراميل، لكن صافي الطاقة لا يُستخدم كثيراً وذلك نظراً لوجود العديد من القياسات الأخرى المتاحة، فمثلا: بدلاً من النظر في صافي الطاقة للتنقيب عن النفط فإنه من الأسهل بكثير استخدام أرقام من مثل الاحتياطيات المكتشفة أو متوسط حجم الاكتشافات الجديدة.

لكن النسبة التي تستخدم البيانات المطلوبة نفسها لصافي الطاقة تسمح بإجراء مقارنات غير متوافرة بوسائل أخرى، والأكثر شيوعاً هو عائد الطاقة على الاستثمار EROI [1]، الذي طوره تشارلز هول في السبعينات، ولقد تم تطوير المفهوم الأصلي في الدراسات البيئية التي تصف كفاءة سمك السلمون المرقط trout في إيجاد طعام للأكل والقدرة على إنتاج الجيل التالي.

إن تعريف عائد الطاقة على الاستثمار EROI هو مشابه لعائد الاستثمار المالي الذي تمت مناقشته سابقاً، وهو ما يأتي:

عائد الطاقة على الاستثمار = صافي الطاقة / تكاليف الطاقة

مع تكاليف الطاقة التي تشمل الاستثمار الرأسمالي وتكاليف التشغيل وتكاليف إيقاف التشغيل وكل ذلك من حيث الطاقة[2]، وباستخدام عائد الطاقة على الاستثمار فإنه يمكننا مقارنة المشاريع عبر العديد من أنواع أنظمة الطاقة المختلفة . فضلاً عن ذلك ونظراً لأن حساب عائد الطاقة على الاستثمار مستقل عن الوقت فإنه يمكن مقارنة حساب عائد الطاقة على الاستثمار

---

(1) EROI هو عائد الطاقة على الاستثمار، واحياناً يستخدم EROIE (Energy return on invested energy) وهو عائد الطاقة على الطاقة المستثمرة، وأحياناً أخرى يستخدم EROEI (Energy return on energy invested)وهو أيضاً عائد الطاقة على استثمار الطاقة.

(2) تشبه إلى حد ما عائد الطاقة على الاستثمار EROI وهي نسبة عائد الطاقة ERR. معرّفة على أنها وببساطة:

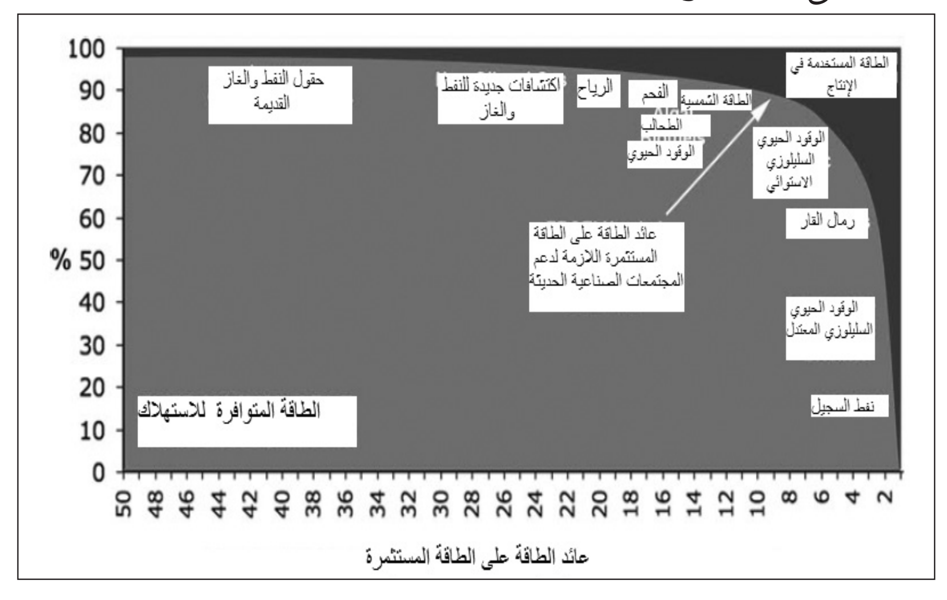
نسبة عائد الطاقة ERR = الطاقة المنتجة / تكاليف الطاقة

إن العلاقة بين عائد الطاقة على الاستثمار ونسبة عائد الطاقة هي:

عائد الطاقة على الاستثمار = نسبة عائد الطاقة – 1.

للمشروعات المنجزة في أوقات مختلفة مباشرةً، وذلك من دون الحاجة إلى التكيف مع التغييرات الاقتصادية.

إن ما يهم هو صافي الطاقة، أي الطاقة المتاحة للاقتصاد الكلي . يوضح الشكل 5-8 مقارنة توضح النسبة المئوية لصافي الطاقة فيما يتعلق بـ عائد الطاقة على الاستثمار EROI.



الشكل 5-8 : صافي الطاقة

(after Mearns 2006; Murphy 2011 and Mearns 2016)

كما يوضح الرسم البياني فإن الفرق في صافي الطاقة بين عائد الطاقة على الاستثمار البالغ 50 وعائد الطاقة على الاستثمار EROI البالغ 20 ليس كبيراً، إن مشروعاً بعائد طاقة على الاستثمار 50 يعني أنه من 100 وحدة طاقة منتجة فإنه سيتم استخدام 2 تقريباً في إنتاج الطاقة مما يترك 98 وحدة للاقتصاد الأوسع، يعني المشروع الذي يبلغ عائد الطاقة على الاستثمار 20 أن المشروع سيوفر مساهمة صافية تبلغ نحو 95 فحسب، يشير عائد الطاقة على الاستثمار البالغ 10 إلى أن المشروع سيسهم بنحو 90 وحدة فحسب، وأن أقل من 10 سيصبح الانخفاض في صافي الطاقة جد سريع، ومن ثم فإنه كثيراً ما يطلق المحللون

على هذا الرسم البياني تسمية «منحدر الطاقة». إن مشروعاً مع عائد طاقة على الاستثمار 1 فحسب سوف يستهلك القدر نفسه من الطاقة التي ينتجها، ومن ثم فإنه لن يسهم بأي طاقة في الاقتصاد الأوسع، لكن لاحظ أن الاستثمارات المالية في مشروع للطاقة مع عائد طاقة على الاستثمار 1 ستظل تُحسب كجزء من الناتج المحلي الإجمالي لهذا البلد، والذي يمكن اعتباره بالتالي «أفق الحدث» لاقتصاديات الطاقة عن طريق القياس مع أفق الحدث حول الثقوب السوداء التي تم العثور عليها في علم الفلك (انظر Blundell 2015).

يكون عائد الطاقة على الاستثمار ونسبة عائد الطاقة وأرقام صافي الطاقة دائماً بوحدات الطاقة ولا يتم الحساب أبداً بوحدات نقدية، وهذا يعني أن عائد الاستثمار المالي وعائد الطاقة على استثمارات مجموعة من المشاريع قد يتم ترتيبهما في أوامر مختلفة، فإذا تم استخدام مصدر غير مكلف ومن المفترض أنه تاريخي للطاقة لمدخلات الطاقة، فقد يكون عائد الاستثمار المالي أعلى بكثير من عائد الطاقة على الاستثمار . يجادل البعض من المحللين بأن هذا هو الوضع الحالي فيما يتعلق بمعظم مشاريع النفط والغاز «الضيق» التي يتم تنفيذها اليوم (على سبيل المثال Smith 2012)، وهناك نقاش كبير بين المحللين الاقتصاديين ومحللي الطاقة حول ما إذا كانت هذه الاختلافات بين عائد الاستثمار وعائد الطاقة على الاستثمار يمكن دعمها لفترة طويلة في داخل الاقتصاد (على سبيل المثال : Nelder 2012 ؛ King and Hall 2011).

5-7: اقتصاديات طاقة المستقبل

ناقشنا في الفصل الماضي كيف تنخفض جودة أي مورد طبيعي كلما زاد استخدامه، وهذه طريقة أخرى يختلف فيها النفط والغاز الطبيعي عن النحاس على سبيل المثال، ويمكن للمرء أن ينشئ عائداً على الاستثمار من النحاس، أي كمية النحاس اللازمة لإنتاج النحاس الجديد، أو عائد الذهب على الاستثمار وهو مقدار الذهب المطلوب في إنتاج الذهب . تماماً من مثل

الطاقة ستنخفض هذه الأرقام والكميات من الذهب والنحاس بمرور الزمن، ولكن بسبب إعادة التدوير فإنهم يقومون بذلك ببطء نسبي (Bardi 2014)، وبسبب القانون الثاني فإنه لا يمكننا إعادة تدوير الطاقة، وأن عائد الطاقة على الاستثمار ينخفض بشكل أسرع، وعلى مدار القرن العشرين فإن التقديرات تشير إلى أن إجمالي عائد الطاقة على استثمار النفط قد انخفض من أكثر من 100:1 إلى نحو20:1 .

ينمو الاقتصاد العالمي لثلاثة أسباب هي: 1 - النمو السكاني، 2 - التنمية الاقتصادية في الاقتصادات الأقل نمواً، 3 - النمو في معظم الاقتصادات؛ وهناك حاجة إلى نمو إمدادات الطاقة لدعم كل من هذه النشاطات . إن كيفية استمرار توفير الطاقة اللازمة هي إحدى القضايا الحاسمة في القرن الحادي والعشرين؛ وبشكل أكثر تحديداً تكمن المشاكل في كيفية الاستمرار في توفير الطاقة للاقتصاد مع انخفاض عائد الطاقة على الاستثمار الذي يبدو بالفعل أنه قريب بشكل خطير من «منحدر الطاقة» . تذكر الملكة الحمراء في كتاب Lewis Carroll's Through The Looking Glass إنه غالباً ما يشار إلى هذه المشكلة بإسم تأثير «الملكة الحمراء» - يجب على المرء أن يجري أسرع وأسرع لمجرد البقاء في المكان نفسه، وكما يوضح (Garcia 2009) فإنه من الممكن تغيير تفاصيل من مثل هذه التوقعات بطرائق يبدو أنها تحل المشكلة، ولكن المشكلة تظهر مرة أخرى بشكل مختلف.

تدرس التغييرات الاساسية [1] في العرض والطلب على الطاقة دائماً القضايا الثلاث المذكورة: النمو السكاني، ونمو استخدام الطاقة للفرد، ونمو الطاقة المجتمعي

---

(1) على الاقل فإن أي تغيير أساسي الذي لدينا قلق بشأنه يتوجب عليه أن ينظر لإجمالي للعرض والطلب العالمي على الطاقة، أنظر في:
IEA (2013), EIA (2014), the Russian Academy of Sciences (Mitrova 2013), Exx-onMobile (2012), Royal Dutch Shell (2009).

يرتبط إسقاط الناتج المحلي الإجمالي الناتج باستهلاك الطاقة لإعطاء التوقعات الإجمالية للطلب على الطاقة، يقوم البعض من الدراسات بإنشاء توقعات عدة وذلك وفقاً لسيناريوهات مختلفة، فعلى سبيل المثال ينظر تقرير التوقعات العالمية لعام 2013 لوكالة الطاقة الدولية في ثلاثة سيناريوهات: 1 - سيناريو «السياسة الحالية»، وهو الذي يُطلق عليه أحياناً أيضاً «العمل كالمعتاد»، والذي يضع التوقعات بناءً على التشريعات والممارسات والسياسات السارية حالياً؛ 2 - سيناريو «السياسات الجديدة» الذي يضع توقعات تستند إلى التشريعات والممارسات والسياسات التي أعلنتها الحكومات ولكن لم يتم تنفيذها بعد؛ 3 - «سيناريو 450» الذي يفترض أن الحكومات ستنفذ سياسات ستحد من انبعاث غاز ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى 450 جزءاً في المليون.

تشير جميع التوقعات المختلفة إلى نمو الناتج المحلي الإجمالي العالمي بنسبة تتراوح بين 3 و 4% خلال العقود القادمة، وأن النفط هو العنصر الحاسم في مزيج الطاقة بسبب دوره في النقل، واعتباراً من اليوم فإنه لا توجد مصادر طاقة بديلة رئيسة متاحة للنقل على نطاق واسع. وهذا يطرح ثلاث مشاكل مختلفة تماماً: الأولى هو أنه ليس من الواضح ما إذا كان يمكن الحفاظ على هذا النمو وذلك نظراً لانخفاض قيم عائد الطاقة على الاستثمار للنفط ؛ والثانية هو أنه إذا لم ينتج عن انخفاض قيم عائد الطاقة على الاستثمار نقصاً في الطاقة، فهذا يعني أنه سيكون هناك الكثير جداً من انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي للسماح بتلبية حد 450 جزء في المليون من غاز ثاني أوكسيد الكربون وهو الحد الأقصى الذي يمكن تحمله دون الهروب من الاحتباس الحراري، وأخيراً فإنه نظراً للمهلة الطويلة للاستثمار الرأسمالي لمشاريع الطاقة فإن هناك مخاوف من أنه ببساطة لا يوجد وقت كافٍ لإجراء التغييرات، يوضح الجدول 5-1 التوزيع الأخير (2013) لمصادر الطاقة.

الجدول 5-1 : مصادر الطاقة العالمية 2013

مصدر الطاقة	مليون طن مكافئ (*) للنفط	النسبة المئوية من إجمالى الطاقة (%)	متوسط النسبة المئوية للنمو للخمس سنوات الماضية (%)
النفط	4185.1	31.9	0.9
الغاز الطبيعي	3020.4	23.1	2.0
الفحم الحجري	3826.7	29.2	3.2
إجمالي الوقود الأحفوري	11,032.2	84.2	2.0
الطاقة النووية	593.2	4.5	-0.9
الطاقة الكهرومائية	855.8	6.5	3.3
طاقة الرياح	142.2	1.1	23.4
الوقود الحيوي	65.3	0.5	4.0
الطاقة الشمسية	28.2	0.2	63.6
الحرارة الجوفية والكتلة الحيوية وأخرى	108.9	0.8	8.8
أخرى	279.3	2.2	17.7
إجمالي الطاقة المتجددة	623.9	4.8	16.2
إجمالي الطاقة الكلية	13,1058.1	100.0	2.4

Source Bp (2014)

(*) إن تحويل كل شيء إلى «أطنان من النفط المكافئ» مما يسمح بالتحليل الذي لا يخلو من العديد من المشكلات المنهجية، وبالنسبة للنفط فإنه يتم استخدام متوسط قيم الوزن لكل برميل والطاقة لكل برميل بعامة لحساب الطاقة في «طن من مكافئ النفط « الذي يشار إليه اختصاراً بـ (toe) . لكن المصادر المختلفة تستخدم متوسط أرقام مختلفة، وعلى غرار النفط تُستخدم القيم المتوسطة لتحويل الغاز الطبيعي والفحم إلى محتواهما من الطاقة ثم تحويل تلك الطاقة باستخدام متوسط أرقام النفط إلى طن من مكافئ النفط. يصبح الأمر أكثر تعقيداً عندما لا يكون هناك وقود يتم حرقه، فالحرارة المتولدة من المفاعل النووي معروفة بعامة، ونظراً لاستخدام هذه الحرارة في توليد الكهرباء بالطريقة نفسها التي يتم بها استخدام الحرارة من حرق الفحم،

فإن حساب طن من مكافئ النفط من قيمة الحرارة لا يزال بسيط نسبياً. إن مصادر الطاقة المتجددة بما في ذلك الطاقة الكهرومائية حيث أن التطبيقات والتقنيات مختلفة تطرح مشاكل إضافية، تبلغ كفاءة توليد الكهرباء الحرارية النموذجية نحو 33%، لذلك فإنه غالباً ما يتم تقسيم إنتاج الكهرباء من هذه المصادر على رقم يتراوح بين 2.5 و 3.5 للوصول إلى الرقم المكافئ. لكن هذا الافتراض والتقسيم يتم في بعض الأحيان فحسب، مما يجعل المقارنات صعبة، ولمزيد من المناقشة الكاملة انظر في كل من American Physical Society (2014) و Martinot et al. (2007).

إذا كان من المقرر تحقيق نمو إجمالي الناتج المحلي بين 3 و 4%، وتم احترام حد 450 جزء في المليون من غاز ثاني أوكسيد الكربون أيضاً، فإن مكونات الوقود غير الأحفوري من إجمالي الطاقة سوف تحتاج إلى الانتقال من أقل من 20% من إجمالي الطاقة في الوقت الحالي إلى الكل تقريباً منه في غضون عقدين، وستكون المساهمة النووية محدودة في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية وذلك بسبب القيود السياسية، كما أن مواقع مشاريع الطاقة الكهرومائية الجديدة الرئيسة آخذة في الانخفاض بسرعة، وهذا يترك مساهمات كبيرة من مصادر الطاقة المتجددة الأخرى كطريق للمضي قدماً . في حين أن بعضها قد نما بسرعة خلال السنوات الخمس الماضية، إلا أن هناك بعض القلق بشأن إمكانية استمرار معدلات النمو هذه، وللمقارنة فإن حسابات الهاتف المحمول التي انفجرت فعلياً على مدار العقدين الماضيين، كانت تنمو بمعدل نحو 10% سنوياً (Kearney 2013).

باختصار، وعلى عكس من الموارد الأخرى التي يستخدمها المجتمع فإنه لا يمكن إعادة تدوير الطاقة، فضلاً عن ذلك وكما هو عليه الحال مع جميع الموارد فإن مصادر الطاقة التي توافر أفضل عائد هي تلك التي

يتم استخدامها أولاً . يشير النمو السكاني المقترن بارتفاع مستوى المعيشة إلى نمو الناتج المحلي الإجمالي العالمي خلال العقود القادمة، ويتطلب نمو الناتج المحلي الإجمالي مزيداً من الطاقة، بينما يعني انخفاض مؤشرات عائد الطاقة على الاستثمار في الوقت نفسه أن الحاجة إلى الطاقة تنمو بشكل أسرع من نمو الناتج المحلي الإجمالي.

الفَصْلُ السَّادِسُ

دور النفط المستقبلي في الاقتصاد

يمكن اعتبار القرن التاسع عشر قرن الفحم، إذ أدى تسخير طاقة الفحم المخزنة عن طريق تطوير المحرك البخاري إلى الثورة الصناعية وثورة متزامنة في النقل، ولقد تم وضع معظم الأساسيات بحلول منتصف القرن، وحدث النمو السريع المستمر في الاقتصاد والتكنولوجيا خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر ضمن هذا السياق، وفي النصف الثاني من القرن التاسع عشر كان العالم مألوفًا وظن الناس أنهم يفهمونه [1][1].

كان القرن العشرين موازٍ للقرن التاسع عشر من نواح كثيرة، إلا أن النفط كان مصدر الطاقة الجديد في هذه المرة، فخلال النصف الأول من القرن العشرين حل الوقود الجديد محل الوقود القديم كمصدر حاسم للطاقة، وعلى الرغم من أن الفحم استمر في لعب دور رئيس في توفير الطاقة، إلا أن النفط كان في الطليعة . كان النفط مهماً بخاصة في النقل إذ أحدث ثورة في طريقة حركة الأفراد والبضائع، ومثلما حدث في القرن التاسع عشر فقد شهد النصف الثاني من القرن العشرين تطوراً تكنولوجياً واقتصادياً مستمراً ضمن السياق الذي تم تحديده في النصف الأول من القرن.

هذا لا يعني أن مصادر الطاقة الأخرى لم تسهم طوال الوقت في ميزان الطاقة، فكما هو موضح في الفصل الخامس كان النفط يمثل أقل من ثلث إجمالي

---

(1) يُقال إن الفيزيائي البريطاني العظيم، لورد كيلفنLord Kelvin (1824-1907)، قال قرب نهاية حياته «لا يوجد شيء جديد يمكن اكتشافه في الفيزياء الآن، وأن كل ما تبقى هو قياس أكثر دقة». هذا ينقل بدقة الشعور السائد في ذلك الوقت على الرغم من حقيقة أن الإسناد إلى اللورد كلفن ربما يكون غير صحيح.

إمدادات الطاقة، لكنه يمثل ثلث الطاقة وقد يقول الكثيرون عنه بأنه الثلث الحاسم . كان أحد التطورات المهمة في الاقتصاد العالمي في النصف الثاني من القرن العشرين هو اندماج الاقتصادات الوطنية والإقليمية في اقتصاد عالمي واحد، الذي يتمثل أساسه في القدرة على نقل السلع الأولية والسلع النهائية والأفراد بكفاءة، وبشكل غير مكلف من أي مكان إلى أي مكان آخر . إن قدرة النقل هذه الممتدة من السفن البحرية إلى القطارات إلى السيارات والشاحنات إلى الطائرات يغذيها النفط بالكامل تقريباً (فريدمان Friedemann في عام 2016)، بالإشارة إلى المخاوف بشأن ذروة النفط فقد لاحظ هيرش Hirsch في عام 2012 أنه «لا توجد أزمة طاقة لكن هناك أزمة وقود سائل ».

من الواضح بالفعل أن النصف الأول من القرن الحادي والعشرين سيشهد مرة أخرى تغييراً كبيراً في إمدادات الطاقة، وسيحدث هذا بسبب واحد أو أكثر من هذه الأمور: نقص العرض، وتغير المناخ، ونمو الطلب، والعمل السياسي . ولزيادة تعقيد التحليل فإنه يمكن أن يكون لكل من هذه الأسباب سبب واحد أو أكثر، فعلى سبيل المثال : يمكن أن يكون نقص الإمدادات ناتجاً عن ذروة النفط العالمية أو بسبب الأعمال العسكرية الكبرى في الشرق الأوسط، ولا يهم ما ستكون عليه التغييرات أو سبب حدوثها، وأن ما يهم هو أنه ستكون هناك تغييرات كبيرة في الطريقة التي يعمل بها الاقتصاد نتيجة لذلك، ولكن لأننا ما زلنا لا نعرف طبيعة من مثل هذه التغييرات فإنه من الصعب تخيل ما سيكون عليه عالم عام 2050 . إن هذا الأمر ليس بالأمر المفاجئ إذا حاول المرء أن يضع نفسه في السنوات الأولى من القرن العشرين، فسيكون من الصعب أن نرى أن القرن القادم سيكون قرناً قائماً على الطاقة النفطية، ففي عام 1900 كان الفحم هو مصدر الطاقة المهيمن، وكانت السكك الحديد هي العمود الفقري لنظام النقل البري، وكان لإضراب عمال مناجم الفحم الأمريكي القدرة على إغلاق الاقتصاد الأمريكي إلى ما بعد الحرب العالمية الثانية، وفي المملكة المتحدة أصبح زوال الفحم واضحاً فحسب مع إضراب عمال المناجم الفاشلين في الثمانينيات.

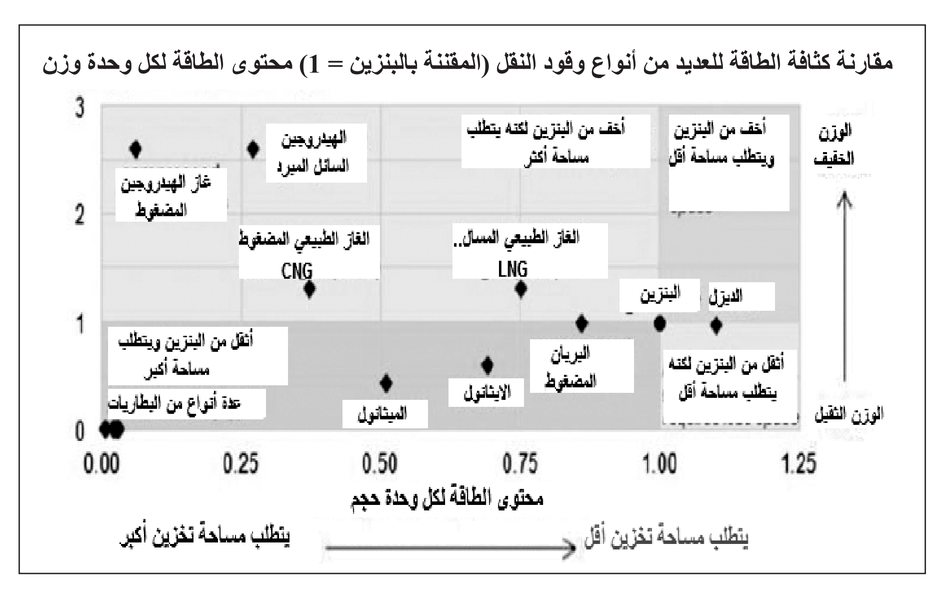
1-6: التغييرات في النقل

بينما سيتغير الاقتصاد بأكمله في القرن الحادي والعشرين، ضع في اعتبارك صعوبة رؤية الشكل الذي سيبدو عليه قطاع النقل في عام 2050، وكما لوحظ فإن هذا هو الجزء من الاقتصاد حيث أن أي تغيير عن النفط سيكون له آثاراً أكثر عمقاً.

سيكون النقل الجوي هو الأقل تضرراً، في حين أن هناك عدد من المحاولات المبكرة للتحقيق في الخيارات الكهربائية للطائرات، ومحاولات أخرى لاستبدال الوقود الأحفوري بالوقود الحيوي، فإن التحقيقات لا تزال في مراحلها المبكرة، وبالمثل فقد أجرى النقل البحري عدد من التحقيقات في بدائل الوقود الأحفوري ولا سيما طاقة الرياح، لكن من غير المحتمل أن يكون النقل الجوي أو البحري في طليعة اقتصاد الطاقة الجديد.

إن النقل البري لديه المزيد من الاحتمالات، وهذا جزئياً لأن استثمار رأس مال الوحدة أقل بكثير، فتكلفة الشاحنة التي تنقل الشحن عبر القارات هي جزء بسيط من تكلفة الطائرة التجارية. لذلك فإنه بالإمكان تجربة تقنية جديدة بأقل خسارة في حال الفشل، ومن ثم فإن التقنيات الجديدة التي أصبحت مهيمنة في النقل البري سوف تُعجل الانتقال بعيداً عن النفط.

إن معظم التطورات في الابتعاد عن النفط في النقل البري تتضمن استخدام الكهرباء، إذ تتراوح الخيارات من المركبات الكهربائية البحتة التي تعمل باستخدام البطاريات إلى المركبات الكهربائية التي تعمل من خلايا الوقود الهجين البنزين / الطاقة الكهربائية. يتم تطوير تحسينات في كفاءة البنزين والديزل واستخدام الوقود الحيوي للمساعدة في سد عملية الانتقال . إن مشكلة ما سيأتي بعد ذلك هي أنه من الصعب استبدال البنزين والديزل في أسطول النقل البري بسبب حقيقة أنهما يوفران طاقة كبيرة في مساحة صغيرة وخفيفة الوزن نسبياً. يوضح الشكل 6-1 هذه الميزة.



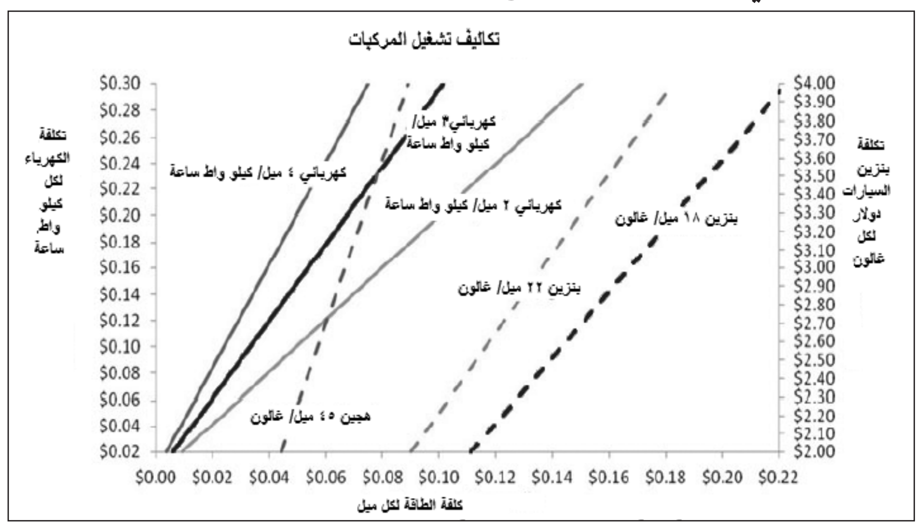
الشكل 6-1 : مقارنات كثافة الطاقة

(Source EIA 2013)

يمكن قياس «كثافة الطاقة» فيما يتعلق بالحجم (المحور الأفقي) أو الوزن (المحور الرأسي)، وأن ما سيحدد استخدام هذه التدابير المادية هو تكلفتها الاقتصادية، وأن جميع الخيارات البديلة في الشكل 6-1 تتطلب مساحة أكبر، مما يعني وجود خزانات وقود أكبر لنفس العدد من الأميال ؛ وستتكلف هذه الخزانات الأكبر حجماً أكثر خاصة إذا كان يجب أن تكون قادرة أيضاً على تحمل الضغط العالي أو يجب أن تحافظ على الغاز في درجات حرارة شديدة البرودة، لكن مع ذلك فإن خيارات الغاز الطبيعي المضغوط والغاز الطبيعي المسال(*) الواردة في الشكل ذات أهمية فورية خاصة؛ وذلك لأن محركات الاحتراق الداخلي التي تعمل بالغاز الطبيعي تشبه إلى حد بعيد المحركات التي تعمل بالبنزين، وفي الواقع فإنه في عدد من الحالات يكون من الممكن تحويل

(*) إن الفرق بين الغاز الطبيعي المسال LNG والغاز الطبيعي المضغوط CNG هو أنه بينما يتشابه الغاز الطبيعي المسال والغاز الطبيعي المضغوط فإنه طرائق توصيلهما وتخزينهما، ويتم تجميد الغاز الطبيعي المسال لتحويله إلى سائل ، في حين يتم ضغط الغاز الطبيعي المضغوط إلى النقطة التي يكون فيها مضغوطًا للغاية، كما أن الغاز الطبيعي المضغوط له أيضاً تكاليف إنتاج أقل من الغاز الطبيعي المسال.

المحركات الموجودة، ومن ثم إذا كانت المشكلة الوحيدة هي إمدادات النفط فإن خيارات الغاز الطبيعي تقدم حلاً فورياً. يوضح موضع البطاريات في الشكل 6-1 أيضاً سبب عدم تحقيق السيارات الكهربائية نجاحاً كبيراً على الرغم من انخفاض تكاليف تشغيلها، يوضح الشكل 6-2 تقديراً للتكاليف لكل ميل للمركبات التي تعمل بالوقود المتنوع.



الشكل 6-2 : مقارنة تكلفة الوقود للمركبات الكهربائية (كهربائي) والمركبات التي تعمل بالبنزين (بنزين) والمركبات الكهربائية الهجينة (هجينة)

Source US Dept. of Energy (2011)

إن الشكل 6-2 هو عبارة عن عرض رسومي بسيط لتكاليف التشغيل (التكلفة لكل ميل في المقياس السفلي) لمختلف المركبات التي تعمل بالكهرباء والبنزين، يختلف هذا باختلاف سعر الكهرباء أو البنزين، وهو دالة على كفاءة السيارة المعينة . لذلك إذا كانت أسعار البنزين 3.00 دولار للغالون الواحد (في الولايات المتحدة) وحصلت السيارة على 22 ميل للغالون (الخط الأزرق المتقطع)، فستتراوح تكلفة الوقود بين 0.13 دولار و 0.14 دولار لكل ميل.

يوضح الشكل 6-2 أن تكلفة الوقود لكل ميل يتم قيادته أقل بشكل عام للكهرباء مقارنة بالمركبات التي تعمل بالبنزين، لكن الفارق لم يكن كافياً

حتى الآن لخلق سوق جماهيري للسيارات الكهربائية، وهناك العديد من الأسباب تتمثل في: التكلفة الرأسمالية المرتفعة للسيارات الكهربائية بعامة، و «القلق بشأن المدى» من نفاد الشحن، وسرعة إعادة التزود بالوقود، ونقص المعرفة . من أفضلية عام 2040 أننا قد ننظر إلى الوراء ونتعجب من سرعة الانتقال بعيداً عن النقل الشخصي بالسيارات التي تعمل بالبنزين (وليس بالضرورة إلى السيارات الكهربائية)، ولكن من وجهة نظر اقتصاديات السوق لعام 2015 فإن البديل الاقتصادي الأكثر عموماً لمعظم وسائل النقل هو السيارة الخاصة التي تعمل بالبنزين أو الديزل.

تبدو حالة الشاحنات أكثر وضوحاً في الأساس، إذ تتطلب الشاحنات طاقة أكثر من السيارات، وتتضخم جميع عيوب السيارات التي لا تعمل بالبنزين أو التي تعمل بالديزل في ضوء هذه المتطلبات العالية للطاقة . إن البطاريات الكبيرة بما فيه الكفاية هي ثقيلة للغاية ومكلفة للغاية في الوقت الحاضر، وأن قلق النطاق لا يتعلق برحلة عطلة نهاية الأسبوع ولكنه يتعلق بالقدرة على تقديم خدمة ومن ثم كسب لقمة العيش، وأن سرعة إعادة التزود بالوقود تصبح غير مقبولة.

باختصار فإنه على الرغم من انخفاض تكاليف التشغيل لبعض البدائل في بعض المَركَبات، فإن البيئة الاقتصادية الإجمالية لأنواع وقود النقل البري غير النفطي ليست مؤاتية للتغيير بعامة ولكن فيما يتعلق بالسيارات الكهربائية وشبه الآلية بخاصة فقد تكون البعض من التغييرات المستقبلية مرئية في الأفق.

2-6: مثبطات مالية إضافية للانتقال

كما رأينا في نموذجنا الاقتصادي فإنه يتم استهلاك رأس المال على مدى عمر الأصول الرأسمالية وبشكل أساس مع الاستهلاك الثابت، وأن استثماراً بمليون دولار لشيء يجب أن يكون له عمر صالح للاستخدام لمدة 20 عام يُعتبر بمثابة مصروف مقداره 50 ألف دولار في كل عام، ولاستبدال هذا الأصل

ولنقل بعد 10 سنوات على سبيل المثال هو أخذ نفقة مقدارها 500 ألف دولا ر في السنة التي يتم فيها التخلي عن المعدات . من المفترض أن يكون الاستبدال المبكر بسبب توافر شيء أقل تكلفة، لكن لاحظ أنه يجب أن تكون أقل تكلفة بكثير إذا كانت الشركة تريد إجراء تغيير فوري أو سريع، وإلا سيكون من الأفضل للشركة من الناحية المالية الانتظار والاستمرار في استخدام المعدات القديمة، لذلك فإن معظم التغييرات تحدث عندما يتم استبدال المعدات الرأسمالية لأنها وصلت إلى نهاية عمرها الإنتاجي، وقد يتم اتخاذ قرار مختلف اليوم ولكن القرار كان قد تم اتخاذه قبل 10 سنوات، وسيتم اتخاذ قرار الاستبدال بعد 10 سنوات في المستقبل، هذا يعني أن الميزة الاقتصادية للتغيير يجب أن تكون أكبر بكثير إذا أريد فرض وتيرة التغيير. لا يقوم الأفراد بالتحليلات الرسمية نفسها، لكنهم يتخذون قرارات مماثلة بشكل جماعي، فعلى سبيل المثال أشار هيرش وآخرون Hirsch et al في عام 2005 إلى أن السيارات في الولايات المتحدة تستخدم في المتوسط لمدة 17 عاماً، ومن ثم سيستغرق الأمر عقداً من الزمن على الأقل للسيارات الاقتصادية في استهلاك الوقود بشكل أفضل حتى يكون لها تأثير كبير في إجمالي كمية البنزين المستهلكة.

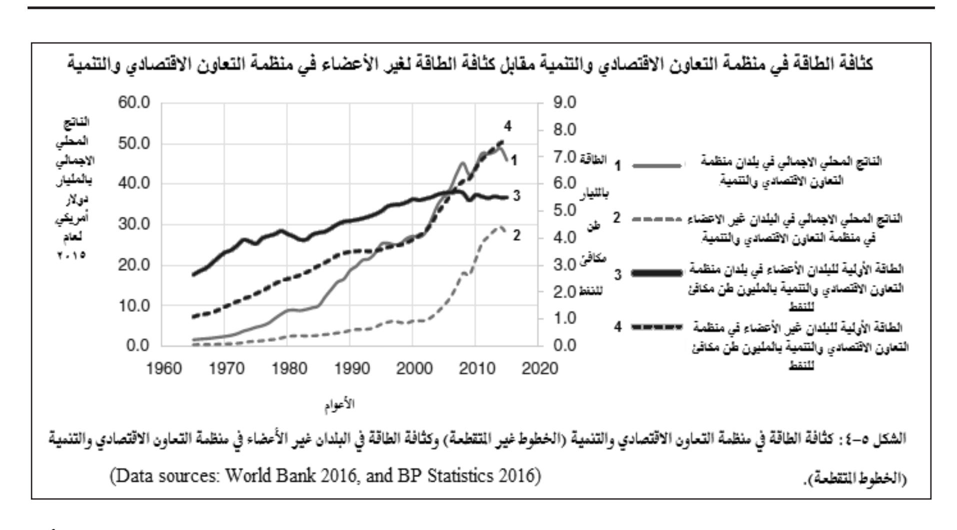
هناك سبب آخر للتأخير الطويل في إجراء تغيير في اقتصاد الطاقة الجديد وهو طبيعة علم النفس البشري، فنحن نرى العالم كما هو وليس بالطريقة التي سيكون عليها، في عام 1905 كانت الطائرة قد أقلعت للتو في أول رحلة لها وصُنعت السيارات يدوياً، الشخص الذي يفكر في السفر من نيويورك إلى شيكاغو سيفكر في قطار ليلي به حجرة نوم، وكان عليه استخدام الكثير من الخيال لرؤية الطرق السريعة بين الولايات الأمريكية أو الطائرات الجامبو. في حين أن هذه الخيارات التي نأخذها كأمر مسلم به قد يتم التفكير فيها، إلا أنها كانت خيالاً علمياً لتلك الحقبة، وكان هناك العديد من الخيارات الأخرى التي كانت افتراضية . ربما كان أحد التطورات الرئيسة في الطريقة التي تطور بها استخدام الطاقة في النقل شيئاً لم يكن له علاقة مباشرة بالنقل

على الإطلاق - نشر هنري فورد Henry Ford طريقة تصنيع خط التجميع. أدى ذلك إلى خفض تكلفة السيارة طراز T بشكل كافٍ لخلق سوق جماعي والذي بدوره حفز تطوير شبكة الطرق. لم يصبح السفر الجوي وسيلة نقل رئيسة إلا بعد الحرب العالمية الثانية وذلك عندما أدى التطوير العسكري للمحرك النفاث إلى تغيير تكاليف الطاقة في النقل الجوي. إن آخر الأخبار عن القيادة الذاتية (Ozimek 2014) والسيارات الكهربائية (Geuss 2014)، وهذه تحسينات لهيكل النقل اليوم، لكنها تحسينات في سياق إطار العمل الحالي، ومن السابق لأوانه معرفة ما إذا كانوا سيكونون جزءاً من الطريق إلى المستقبل أو طريق مسدود.

3-6: حالة التحول العالمي للطاقة

سيكون أكبر مساهمة في صورة الطاقة العالمية خلال العقود القادمة وفقاً للحكمة التقليدية[1] هو تأثير الصين والهند والاقتصادات الأخرى في جنوب شرق آسيا، وكما هو مبين في الشكل 5-4 فإن كثافة الطاقة في بلدان منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية تتحسن بشكل ملحوظ (أي أن كمية الطاقة لكل وحدة من الناتج المحلي الإجمالي آخذة في الانخفاض)؛ ولولا زيادة الطلب على الطاقة من آسيا لكانت هناك مخاوف أقل بكثير بشأن إمدادات الطاقة في المستقبل . كما ذكرنا يعود البعض من النمو الآسيوي والبعض من التحسن في كثافة الطاقة في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية إلى تصدير منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية للتلوث . بعبارة أخرى فإنه غالباً ما انتقلت الصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة من دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية إلى دول غير أعضاء في هذه المنظمة، لكن إنتاج هذه الصناعات الكثيفة الطاقة لا يزال يُباع في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (Reinvang and Peters 2008)، ومن مثل ويلسون وآخرون Wilson et al في عام 2002 فإنه يمكن أن يكون لمن مثل هذه التحولات عواقب جيوسياسية.

(1) انظر التوقعات المشار إليها في الفصل السابق.



الشكل ٥-٤ : كثافة الطاقة في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (الخطوط غير المتقطعة) وكثافة الطاقة في البلدان غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (الخطوط المتقطعة).
(Data sources: World Bank 2016, and BP Statistics 2016)

بالنسبة للحالات التي درسها ويلسون وآخرون، فإن الاقتراح هو أن تصدير التلوث يجعل الاتفاق الدولي بشأن القضايا البيئية أكثر صعوبة، وهذا بدوره ينعكس على اتفاقيات التجارة الدولية، لقد أعلنت الحكومة الهندية في عام 2014 أنها لن تكون جزءاً من اتفاقية دولية بشأن الحد من ثاني أوكسيد الكربون وذلك لأن أعضاء هذه الحكومة يعتقدون أن النمو الاقتصادي والقضاء على الفقر يُعد واحدة من الأولويات الوطنية الأكثر أهمية (Dav-enport 2014). بعد ذلك وافقت الحكومة الهندية على الانضمام إلى اتفاقية باريس لعام 2015 بشأن تغير المناخ، لكن التوترات بين الحد من الانبعاثات والنمو الاقتصادي في جميع البلدان غير الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي لا تزال قائمة.

إن الأهم من ذلك هو أن هدف العديد من الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية هو الحصول على مستويات معيشية اقتصادية يمكن مقارنتها بمستويات دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، وبالاقتران مع السكان الذين ينمون بسرعة أكبر من دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، فإن النتيجة هي نمو كبير في الطلب المتوقع على الطاقة في الاقتصادات غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية . على سبيل المثال تشمل توقعات استخدام الطاقة في الهند زيادة كبيرة في ملكية السيارات

الشخصية والقيادة بسبب توسع الطبقة الوسطى، وزيادة ثابتة في كمية الشحن التي يتم نقلها بواسطة الشاحنات (EIA2016 a).

تدرك الصين أن لديها مشكلة تلوث كبيرة (Wong 2014)، فقبل عقدين من الزمن كانت سماء بكين زرقاء، واليوم غالباً ما يحجب الضباب الدخاني السماء في بكين. تتحكم شنغهاي في التلوث عن طريق تقنين تسجيلات السيارات (Business Week 2013)، وهناك عدد كبير من المشاكل الإضافية في الصين التي تجعل نموها المتوقع يمثل إشكالية . أدت سياسة الطفل الواحد إلى تقليص المعروض من العمالة الرخيصة التي كانت تمثل العمود الفقري للنمو الهائل في الصين على مدى الثلاثين عاماً الماضية؛ لقد تطور النظام المالي من فلسفة شيوعية تجعله عرضة لمشاكل جديدة من مثل تنظيم النظام المصرفي القائم على المخاطر، وقد رفعت السنوات الثلاثين الماضية من نمو التوقعات للمستقبل التي سيكون من الصعب تلبيتها . تسمح الطبيعة من أعلى إلى أسفل للتخطيط الشامل الصيني للمضي قدماً في المشاريع الكبرى بسرعة أكبر بكثير من دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية؛ وأن شبكة السكك الحديد الصينية عالية السرعة مثال على ذلك، ولكن على عكس التصور الخارجي للسيطرة من أعلى إلى أسفل فإنه من المعروف أن الحكومات الإقليمية في الصين والصناعات المملوكة للدولة اسمياً تتجاهل ببساطة التوجيهات والسياسات الوطنية، ويجري تنفيذ حملة موجهة ضد التلوث ولكن يبقى مدى تأثير ذلك غير واضح بسبب العيوب في التنفيذ.

فضلاً عن ذلك فإنه ليست كل هذه الخطط الوطنية تعمل بشكل جيد للغاية، إذ أن أحد الأساليب التي تتبعها الحكومة الصينية هو بناء مدن جديدة خالية من التلوث، لكن الوظائف الصينية موجودة في المدن القائمة والرديئة، لذلك بينما تواصل الصين بناء من مثل هذه المدن الجديدة فإن هناك القليل من التحسينات في التلوث عندما لا يريد الأفراد العيش في المدن الجديدة، والخطط نفسها تتطلب طاقة لتنفيذها وهذه تعتبر مشكلة أيضاً.

إن التطور السريع عرضة للاختناقات التي تحد من النمو. يشير تيو Tu في عام 2013 إلى أن شبكة السكك الحديد في الصين تعمل بالفعل فيما يتعلق بنقل الفحم، وأن تطوير رواسب الفحم الجديدة مقيد بشكل أكبر بتوافر المياه. ومن ثم تتطلع الصين أيضاً إلى استيراد الفحم إلى منطقتها الصناعية الشمالية الشرقية بدلاً من استخراج الفحم في غرب الصين وشحنه شرقاً بالسكك الحديد.

بالإضافة إلى تطوير مواردها الخاصة فإن الصين كانت قد قامت بشراء ممتلكات أجنبية للنفط والغاز (EIA 2014a)، وأن العدد الكبير من الدول ذات العقود الصينية طويلة الأجل يوفر بعض الحماية من المشاكل؛ على سبيل المثال تمتلك الصين حصة كبيرة في كل من السودان وجنوب السودان، على الرغم من أن الدولة تسيطر على عدد من حقول النفط على الأقل فإنها لا تزال محل نزاع. كما أبرمت الصين اتفاقيات مع عدد من دول الخليج النفطية، ولقد استثمر الصينيون في رمال القار الكندية، لكن هذا الاستثمار لا يزال يمثل مشكلة إلى حد ما وذلك لأنه قد لا يكون من الممكن نقل النفط المُنتَج من شمال شرق ألبرتا Northeastern Alberta اقتصادياً. تعد سيبيريا Siberia في روسيا الاتحادية مصدراً مستقبلياً مهماً للنفط والغاز الطبيعي بالنسبة للصين ويرجع ذلك جزئياً إلى قربها الجغرافي، كما ستلبي مبيعات النفط والغاز من سيبيريا إلى الصين التطلعات الروسية التي تواجه تحديات جغرافية في بيع مواردها الضخمة من النفط والغاز، وتأتي خطوط الأنابيب التي تتصل بشبكة الأنابيب الروسية من كازاخستان ومباشرة من سيبيريا. وهناك أيضاً خطوط أنابيب لكل من النفط والغاز الطبيعي من ميانمار؛ في حين أن المكامن في ميانمار نفسها ليست بالكبيرة، فإن نقل شحنات الشرق الأوسط وأفريقيا يوفر توفيراً في مسافة الشحن، والأهم من ذلك هو القدرة على تجاوز المضائق البحرية المزدحمة في جنوب شرق آسيا.

وفيما إذا كانت كل هذه الاستثمارات ستوافر إمدادات آمنة في تطور ميزان الطاقة العالمي أو إلى متى ستوافر هذه الموارد إمدادات آمنة يبقى أمراً مفتوحاً

للتساؤل، ومع انخفاض عائد الطاقة على الاستثمار سيكون هناك ضغط متزايد على الإمدادات الجديدة. يحتاج المرء فقط إلى إلقاء نظرة على التوترات الأخيرة في بحر الصين الجنوبي (BBC 2014) ليرى أن الصين لا تزال قلقة بشأن إمداداتها من الطاقة.

تواجه توقعات النمو في الهند المشاكل نفسها التي واجهتنها الصين وذلك على الرغم من وجود اختلافات كبيرة في الأسباب الكامنة وراء تلك الخاصة بالصين، وسيزداد عدد سكان الهند بمعدل أسرع من الصين، الأمر الذي سيزيد من حجم الطلب في حد ذاته. إن القضية الرئيسة في الهند هي إمدادات الطاقة التي يتم توفيرها حالياً إلى حد كبير من قبل الشركات المملوكة للدولة. إذ يتم استيراد معظم الوقود الأحفوري في الهند ليس بسبب عدم كفاية الاحتياطيات المحلية منه بقدر صعوبة تحويل الاحتياطيات المحلية إلى الإنتاج (EIA 2014b). ولقد تم تقليدياً التحكم في الأسعار، ولا يزال الجزء الأكبر من إنتاج الوقود الأحفوري المحلي في أيدي الشركات الحكومية، وأن أغلب الواردات من الطاقة تأتي على مسافة قصيرة من الشرق الأوسط إلى الساحل الشمالي الغربي للهند.

على الرغم من الجهود الجبارة التي يبذلها المخططون الستراتيجيون، فإن التوقعات لكل من الصين والهند تستند إلى اقتصادات كل منهما اليوم وأنماط التجارة الحالية، مما يعني أنه ستكون هناك حاجة إلى كمية كبيرة من النفط لقطاعات النقل الخاصة بكل منهما. تعمل صناعة النفط والغاز العالمية على أساس عالمي، وإذا كانتا كل من الهند والصين لا تزالان تعتمدان على الوقود الأحفوري إلى الحد المتوقع، فإنه من الصعب تصور اقتصادات منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية تعمل على أساس مختلف.

تتضح صعوبة «العمل بمفردها» من خلال Energiewende الألمانية[1]، إذ اتخذت ألمانيا قراراً واعياً بالتحول إلى الطاقة المتجددة للحصول على أكبر قدر ممكن من الكهرباء، فخلال العقد الماضي تم تحقيق استبدال كبير للوقود

(1) حرفياً تعني تحويل الطاقة، أي التحول نحو المصادر البديلة للنفط وبخاصة الطاقة المتجددة.

الأحفوري في قطاع الكهرباء . في حين أن السكان كانوا داعمين بعامة وراغبين في دفع رسوم أعلى للكهرباء، فإن الصبر على من مثل هذه التكاليف المرتفعة بدأ ينخفض في مواجهة أسعار النفط المنخفضة (أي الطاقة)، يوضح هذا الأمر البعض من الصعوبات في التخطيط لاقتصاد طاقة منخفض ثاني أكسيد الكربون يختلف عن النموذج العالمي (Michel 2014).

في بلدان منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية وبدرجة أقل في الدول الأخرى كان هناك مقاومة كبيرة للابتعاد عن نموذج الاستثمار الرأسمالي المبين في الفصل الثاني، يرجع البعض من هذه المقاومة إلى حقيقة أن مشاريع الطاقة لها أطر زمنية لاستثمار رأس المال أطول مما يعتقده معظم الأفراد عموماً في تخطيطهم الشخصي . كما رأينا قد يكون للابتعاد عن نموذج الاستثمار الأصلي تكاليف مالية حقيقية، وعلى الرغم من التراجع المحتمل إلا أن Energiewende لا تزال تحظى بدعم السكان الألمان، وكما يقتبس أحد المواطنين «هناك عيوب كبيرة في القيام بذلك بمفرده، فإن المساوئ تكون أكبر إذا لم يفعلها أحد» (Irfan 2014).

4-6: التحول الاقتصادي العالمي

ستتغير عدد من جوانب اقتصاد اليوم ببطء بينما ستتغير الجوانب الأخرى بسرعة أكبر، وسيتحدد شكل الاقتصاد الجديد بالطريقة التي يتطور بها النقل؛ وسيثار التساؤل الآتي: هل سنركز سكاننا في مدن عالية الكثافة، أو ننتشر بشكل متساوٍ في بيئات منخفضة الكثافة وموزعة؟ إن الجواب هو لكل من هذين الخيارين عدد من المزايا . إذ سيكون لكل منها آثار النقل، وستتدفق التغييرات في النقل عبر بقية الاقتصاد، وإلى حد ما ستتم معالجة هذه الأنواع من عدم اليقين باستخدام تخطيط السيناريو (IEA 2013; Royal Dutch Shell 2009), ولكن في أي سيناريو لا يزال هناك نطاق متزايد من النتائج في المستقبل، لقد تسبب العقد الماضي في حدوث تغيير كبير في أسواق الطاقة، مما أدى إلى إزعاج الأنماط التي كانت سائدة في السبعين عاماً الماضية، ومن ثم فإن

نطاق التوقعات سينتشر على نطاق أوسع، مما يعني أن هناك قدراً أكبر من عدم اليقين لأولئك الذين يستثمرون.

لاحظ تينترTainter في عامي 1988 و2010 أن المجتمعات تميل إلى أن تصبح معقدة بشكل متزايد، إن نظريته الأساسية هي أنه نظراً لوجود مشاكل تحتاج إلى حل دائماً، وأن حلول المشكلات تضيف تعقيداً، فإن هذه الزيادة التدريجية في التعقيد تُعد أمراً لا مفر منه، ولكن تينتر يلاحظ أن التعقيد المتزايد هو احتكاك داخلي، وأن من مثل الاحتكاك ما يُبدد الطاقة، ومن ثم فإن الحفاظ على التعقيد الإضافي في المجتمع يتطلب المزيد من الموارد - ولا سيما المزيد من الطاقة . إن اللغز هو أن إحدى المشكلات الرئيسة التي يواجهها العالم اليوم التي تفاقمت بسبب النمو المتوقع للصين والهند هي مسألة إمدادات الطاقة، والسؤال الآن هل يجب أن يستمر هذا العرض من الوقود الأحفوري؟ ومع التذكير بالمناقشة حول ذروة النفط في الفصل الرابع فإن هناك أسئلة حول ما إذا كان النفط الكافي متاحاً حتى لدعم من مثل هذا التعقيد الإضافي.

الفَصْلُ السَّابِعُ

مشـــاكــل ســيـاســيــة

بالنظر إلى أهمية النفط في الاقتصاد فإنه لا بد من ظهور قضايا سياسية، وهذه القضايا تختلف من الضرائب إلى سياسة التشغيل إلى التخطيط للمستقبل، لكن دور صناعة النفط يختلف في كل دولة، لذا فإن طبيعة هذه التفاعلات السياسية تختلف بشكل كبير. وتتراوح القضايا من السياسات الوطنية طويلة الأجل إلى الإجراءات التشغيلية التفصيلية؛ ومن قضايا ضريبية محددة للغاية إلى التأثير المباشر الرئيسي في الاقتصاد الوطني.

إن شركات النفط الكبرى والبعض منها ومن الناحية الاقتصادية أكبر من العديد من الدول ذات السيادة، إذ أنها قد تعمل في عشرات الولايات القضائية السياسية في وقت واحد، فالشركات ليست دائماً هي من المشاركين السلبيين مع الدول التي تعمل فيها . اعتماداً على الوضع في كل بلد فإن الشركات قد تؤثر في سياسات الحكومة أو حتى تملي هذه السياسات، وفي حالات أخرى قد تستخدم الحكومة شركات النفط الواقعة ضمن نطاق سلطتها كوسيلة لتنفيذ سياستها.

7-1: الضرائب والإعانات

لأن القليل من الاقتصاديين يفهمون الاقتصاد على أنه تدفق للطاقة كما تم مناقشته في الفصل الخامس، حتى أن عدداً أقل من السياسيين ينظرون إلى أعمال الطاقة بهذه الطريقة، هناك عدد هائل من الطرائق التي يمكن من خلالها فرض ضرائب على النفط أو دعمه، وكثيراً ما تفعل البلدان كلا الأمرين، كما رأينا في الفصل الثاني فإنه يمكن أن تتأثر الآفاق المالية لمشروع معين

بشدة بالضرائب؛ ليس معدل الضريبة هو المهم فحسب بل هو أيضاً القواعد المحاسبية حول ما يمكن اعتباره ربحاً، وليس من الواضح دائماً ما إذا كانت سياسات الدولة تشجع استخدام الوقود الأحفوري أو تثبط استخدامه.

إن النرويج على سبيل المثال لديها ضرائب مرتفعة نسبياً على كل من إنتاج النفط ومبيعات التجزئة، وفي الوقت نفسه تسمح السياسات الضريبية في النرويج للشركات التي تقوم بالتنقيب في منطقة واحدة بتعويض العديد من نفقاتها مقابل الإيرادات من منطقة مختلفة تماماً، ونتيجة هذا التعويض الضريبي هو أن الشركات التي لديها إنتاج نرويجي يتم دعم نشاط التنقيب الخاص بها من قبل الحكومة النرويجية في شكل مدفوعات ضريبية مخفضة، ويعد هذا تشجيعاً كبيراً لنشاط الاستكشاف النرويجي كنتيجة مباشرة للسياسة الضريبية، وفي اجتماع غير رسمي كان من دواعي سرورنا أن نسمع اثنين من الاقتصاديين يجادلان حول ما إذا كانت النرويج تدعم النفط أو تفرض ضرائب كبيرة عليه.

مثال آخر في الولايات المتحدة إذ أن قانون الضرائب سمح بـ «بدل النضوب» للنفط والغاز الطبيعي المُنتَجَين، وهذا ما يبرره على أنه أقرب إلى الاستهلاك المسموح به مقابل الأصول الرأسمالية المادية من مثل البئر في تحليلنا من الفصل الثاني، إنها مصروفات غير نقدية في حسابات الشركة تعوض قيمة الاحتياطيات. وأنه بالسماح للشركة بإظهار من مثل هذه النفقات فإنه يتم تخفيض دخل الشركة ومن ثم تخفيض ضريبة الدخل، تؤكد مجموعات الصناعة أن هذا الأمر ليس إعانة وذلك لأن الحكومة لا تدفع لأحد لكن التأثير الاقتصادي جد مشابه، ومن الواضح أن الحكومة تخلت عن البعض من الإيرادات وحصلت الشركة على ميزة، وفي الولايات المتحدة الأمريكية يظل بدل الاستنفاد جزءاً من قانون الضرائب، وذلك على الرغم من وجود العديد من القواعد التفصيلية المصممة للحد من قابليته للتطبيق بحيث لا تستفيد أكبر الشركات ((IRS publications 535 (2015)).

إن النرويج والولايات المتحدة هما ديمقراطيتان مستقرتان، لذلك يتم إجراء التغييرات في الضرائب بشكل سلمي، وفي البلدان الأخرى لا سيما تلك

التي تدعم مبيعات الوقود بالتجزئة، قد تكون التغييرات في نظام الضرائب أو الدعم أكثر صعوبة . إن فنزويلا هي دولة منتجة للنفط وقد باعت البنزين والديزل في الاقتصاد المحلي بأقل بكثير من تكلفتهما (Wagner 2013) . إن زيادة سعر الوقود بحيث يرتبط بشكل أكثر واقعية بتكاليف الإنتاج أو أسعار السلع والخدمات الأخرى في كثير من الأحيان لا يمكن القيام به وذلك لأن السكان يعترضون (Los Angeles Times 2016)، وفي من مثل هذه الحالة فإن المشاكل الاقتصادية الأساسية المؤجلة تجعل الوضع السياسي أقل استقراراً، وفي حين أن الوضع في فنزويلا هو وضع متطرف فإن عدداً من البلدان الأخرى تبيع البنزين والديزل بأسعار أقل من التكلفة (Wagner op.cit) .

لكن الديمقراطيات المستقرة لديها مشاكلها هي الأخرى أيضاً كما تمت مناقشته، فإن مشاريع الطاقة بعامة وإنتاج النفط والغاز الطبيعي بخاصة هي مشاريع طويلة الأجل وكثيفة رأس المال، وبمجرد بدء المشروع فإنه يمكن للتغيير في الضرائب أو الافتراضات الأخرى للنموذج المالي تحويل ما كان يُعد مشروعاً مربحاً إلى مشروع غير مربح، لكن مع ذلك فإنه من التوازن السياسي الدقيق توفير فترة تدريجية لسياسة جديدة دون التسبب في ضائقة مالية لا داعي لها من خلال تغيير القواعد بشكل مفاجئ.

2-7: استقرار السوق

ستستمر حقيقتان تاريخيتان حول صناعة النفط في التأثير بشكل كبير في الصناعة لعقود عدة أخرى على الأقل[1]، الأولى هي أن الصناعة كانت دائماً ما تتحكم في الأسعار من خلال نوع من احتكار القلة أو الكارتل. تبع صندوق Rockefeller's Standard Oil Trust اتفاقية قلعة أكناكري Achnacarry Castle التي أصبحت بدورها مجموعة «الأخوات السبعة Seven Sisters»[2] خارج

---

(1) انظر في: (1975) Sampson و (1991) Yergin من بين أشياء أخرى كثيرة.

(2) الأخوات السبعة هن: (Standard of New Jersey) =Exxon و (Standard of) =Mobil New York و (Standard of California) =Chevron و Texaco و Gulf و BP و Shell. اليوم هناك أربعة فقط: اندمجت إكسون وموبيل في شركة واحدة واستوعبت شيفرون تكساكو وجلف.

الولايات المتحدة بينما اهتمت لجنة تكساس للسكك الحديدية بالحفاظ على سعر معقول (من وجهة نظر شركات النفط) داخل الولايات المتحدة، ولقد حظيت هذه الترتيبات بدعم ضمني على الأقل من الحكومات، إذ استفادت شركات النفط التي يقع مقرها في الولايات المتحدة وأوروبا من خلال حمايتها من المنافسة الشديدة . لكن مع تحول الإنتاج العالمي إلى بلدان أخرى في الستينات من القرن الماضي، التي كان العديد منها فقيراً في عدد السكان الأصليين الذين قد يستفيدون من ارتفاع أسعار النفط الخام، ولقد أسست الدول المنتجة الرئيسة منظمة البلدان المصدرة للنفط (أوبك) OPEC . خلال السبعينات انتزعت أوبك السيطرة الاحتكارية بعيداً عن شقيقاتها السبع في كثير من الأحيان، وذلك من خلال تشكيل شركات النفط الوطنية التي طلبت الحكومة بعد ذلك أن يكون لها دور رئيس في جميع الأنشطة في داخل البلاد، ولقد تمكنت المملكة العربية السعودية التي تعد أكبر منتج في أوبك إلى حد بعيد من الحفاظ على نظام السوق من خلال كونها «المنتج البديل» swing producer(*)، إذ قامت الحكومة السعودية بتحويل أرامكو Aramco (شركة النفط العربية الأمريكية) إلى شركة نفط وطنية Saudi Aramco.

إن الحقيقة الثانية هي أن منطقة إيران والعراق والمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة هي جزء «نفطي» بشكل خاص من العالم، إذ تمت الاكتشافات الأولى في هذه المنطقة في إيران عام 1908 [2]، وفي الفترة التي تلت

(*) swing producer: إن هذه التسمية لها ترجمات عدة منها المنتج البديل أو المنتج المُتأرجِح أو المنتج المُرَجِح، وهي بعامة تشير الى المنتج النفطي الذي يحاول الابقاء على الاسعار النفطية عند مستوى معين، ولقد لعبت السعودية هذا الدور ضمن أوبك بعد الثورة الايرانية عندما ارتفعت اسعار النفط فزادت السعودية من حجم انتاجها النفطي حتى لا يحصل زيادة كبيرة في الاسعار تؤثر في نمو الاقتصاد العالمي، كذلك لعبت السعودية هذا الدور ضمن اوبك بعد ذلك في محاولة منها لمنع الاسعار النفطية من الانخفاض وذلك من خلال تخفيض حجم انتاجها النفطي.

(2) انظر إلى التواريخ التي سبق ذكرها.

الحرب العالمية الثانية مباشرة أصبحت منطقة الخليج [1] المنطقة المنتجة للنفط في العالم. يوضح الجدول 7-1 هذه الأهمية.

الجدول 7-1 : إنتاج المملكة العربية السعودية بملايين البراميل يومياً مقارنة بالمصادر الأخرى

السنة/ البلد	1950	1970	1990	2010	2015
المملكة العربية السعودية	750	3851	7105	10,075	12,014
As a % of OPEC	*18.8*	*16.9*	*29.8*	*28.7*	*31.4*
As a % of world	*6.9*	*8.0*	*10.9*	*12.1*	*13.1*
بلدان الخليج العربي a	2133	13,741	16,900	24,893	29,812
As a % of OPEC	*53.3*	*60.4*	*70.8*	*70.9*	*78.0*
As a % of world	*19.7*	*28.6*	*25.9*	*29.9*	*32.5*
إجمالي أوبك	4000	22,762	23,857	35,088	38,226
As a % of world	*36.9*	*47.4*	*36.5*	*42.1*	*41.7*
إجمالي العالم	10,852	48,056	65,385	83,296	91,670

a: السعودية وإيران والعراق والكويت والبحرين وقطر والإمارات وعمان

(data primarily from BP statistical reports (2014, 2016); 1950 estimates from multiple sources)

لأسباب خارجة عن نطاق هذا الكتاب فقد كانت منطقة الخليج ولا تزال منطقة استقرار سياسي هش، ولقد كان التنقيب والإنتاج العراقي محدوداً منذ بداية الحرب الإيرانية العراقية في عام 1980، وهناك الكثير من الأمل في الصناعة لاكتشافات جديدة وتحسين الإنتاج وذلك نظراً للتحسينات التكنولوجية على مدى السنوات الـ 35 الماضية، لكن البلد لا يزال غير مستقر سياسياً بحسب نشريات وكالة الطاقة الدولية (IEA 2012)، كما كانت مساهمة إيران في الإنتاج العالمي محدودة بسبب العقوبات التي هي نتيجة غير مباشرة لمشكلة سياسية مختلفة في الشرق الأوسط وهي المأزق الإسرائيلي العربي.

(1) إن الإيرانيين ليسوا عربا والعرب ليسوا إيرانيين، ويشعر كل منهم بقوة تجاه هذا. ومن ثم فإن «الخليج الفارسي» و «الخليج العربي» كلاهما اسمان غير مقبولان لهذا المسطح المائي. لذا فهو ببساطة «الخليج». لكن لاحظ أن هذا الخليج لا يجب الخلط بينه وبين خليج المكسيك ، الذي هو مركز صناعة النفط الأمريكية والذي يسمى أيضاً «الخليج» عند مناقشة القضايا الأمريكية. .

توضح النسب المذكورة أعلاه الدور الحاسم الذي تلعبه المملكة العربية السعودية في منطقة الخليج وفي صناعة البترول العالمية، وفي سبتمبر من عام 1985، خفضت المملكة العربية السعودية سعر نفطها الخام إلى النصف تقريباً ؛ وينعكس ذلك في انخفاض متوسط أسعار النفط من عام 1985 إلى عام 1986 من 27.53 دولار أمريكي إلى 13.30 دولار أمريكي للبرميل. في حين أن هذه الخطوة أثبتت سيطرة المملكة العربية السعودية على كل من أوبك وأسواق النفط العالمية، فقد تأسس دور المنتج «المتأرجح» هذا منذ أكثر من ربع قرن، وتتساءل عدة عوامل وجميعها محل نقاش ساخن عما إذا كان بالإمكان الحفاظ على هذا الدور وتحت أية ظروف.

في منتصف عقد الثمانينات من القرن الماضي، كانت المملكة العربية السعودية لا تزال تتمتع برفاهية وجود عدد قليل نسبياً من السكان، وبالإضافة إلى ذلك فقد تراكمت احتياطيات ضخمة من العملات الأجنبية خلال عقد السبعينات من القرن نفسه، ونتيجة لذلك كانت في وضع يمكنها من تقليل الإنتاج والتخلي عن الدخل، وأما أعضاء أوبك الآخرون وبعضهم يضم عدداً أكبر من السكان لا يستطيعون تحمل أي تخفيضات لأنهم يحتاجون إلى كل دولار من عائدات النفط. على الجانب الآخر، فإن الاحتياطيات الجد كبيرة التي يسهل الوصول إليها في المملكة العربية السعودية جعلت من الممكن لشركة أرامكو السعودية وهي شركة النفط الوطنية السعودية أن تقوم بزيادة الإنتاج، أما اليوم فقد تغير الوضع وتضاعف عدد السكان السعوديين من 13.3 مليون في عام 1985 إلى 27.3 مليون في عام 2001 (UNDESA 2012)، فضلاً عن ذلك فقد اعتاد هؤلاء السكان على الدخل الناتج عن عائدات النفط . ومن ثم فإن قدرة المملكة العربية السعودية على استيعاب انخفاض كبير في الدخل على مدى أي فترة طويلة يجب أن تكون موضع تساؤل، وحول مسألة زيادة الإنتاج لتغطية النقص في السوق ومنع الزيادات الكبيرة في الأسعار فقد أعلنت الحكومة السعودية أنها تستطيع الإنتاج بمعدل 12.5 مليون برميل يومياً إذا لزم الأمر، لكن القدرة على الحفاظ على من مثل هذه الزيادة على

مدى أي فترة زمنية طويلة يُعد أمراً مشكوك فيه (Said 2013; Maschhoff 2013) .

3-7: القضايا الجغرافية

إن حقيقة أن ما يقرب من 30% من نفط العالم، ومن ثم جزء مهم من الطاقة للاقتصاد العالمي يأتي من دول الخليج مما يجعل الوضع الجيوسياسي في المنطقة ذا أهمية اقتصادية كبيرة، ومن الجدير بالذكر أن الحكومة السعودية، أي العائلة المالكة السعودية هي مستهدفة بشكل خاص من قبل كل من الأصوليين السنة (Baer 2003; Crooke 2014a, b) وكذلك من قبل الشيعة (Wehrey and Sadjadpour 2014)، فضلاً عن ذلك فإن التوترات الجيوسياسية لا تقتصر على منطقة الخليج فحسب، فقد تعرضت روسيا وهي مُصدِر كبير للنفط والغاز الطبيعي لعقوبات بسبب أفعالها في أوكرانيا، ولا يزال هذا من المحتمل أن يعطل الإمدادات في أوروبا التي كانت تُعد المشتري الرئيس للنفط والغاز الطبيعي من روسيا.

إن حجم النفط الذي يتدفق عبر نظام الإنتاج والنقل والتكرير والتوزيع هو حجم ضخم، ويوجد تخزين في جميع أنحاء النظام لتسهيل العمليات اليومية، وأن الكمية المخزنة في خزان البنزين لكل سيارة في أي وقت هو مثال على ذلك. لكن الحجم يجعل تخزين أي احتياطيات كبيرة لحالات الطوارئ هو أمر غير عملي؛ إذ لا يقوم الأفراد بتخزين البنزين بشكل كافٍ طوال الشهر المقبل، ناهيك عن العام المقبل بأكمله. يواجه التخزين الرئيسي طويل الأجل مشاكل مماثلة، فالطريقة العملية الوحيدة لضبط الإنتاج حسب الطلب هي زيادة الكمية التي يتم إنتاجها في المصدر أو تقليلها، وذلك باستخدام الجيولوجيا الأصلية كمخزن.

إن النتيجة هي أن التحولات المفاجئة من منطقة إنتاج إلى أخرى حتى لو كانت الكميات المطلقة متوافرة فهي غير ممكنة، إذ تم تصميم البنية التحتية للنقل بالكامل للتوزيعات الجغرافية الحالية، ومثال على مدى صعوبة ذلك هو أن الإنتاج من مناطق باكن Bakken بالولايات المتحدة الأمريكية مقيد

بسبب نقص النقل بين نورث داكوتا North Dakota ومصافي التكرير(Craig 2014; Hussain 2013).

في هذا السياق فإن ما يمكن تسميته «علاقة خاصة» بين المملكة العربية السعودية والولايات المتحدة يحتاج إلى تقييم، وفي الأساس فإن حكومة الولايات المتحدة التزمت بالدفاع عن الحكومة السعودية منذ اكتشاف النفط لأول مرة، سواء أكان ذلك علانية أم بهدوء، وقد تأكد هذا بوضوح في أعقاب استيلاء العراق المؤقت على الكويت في عام 1990. وفي المقابل فقد عززت الحكومة السعودية مصالح أمريكية مختلفة على مر السنين، وفي الوقت الحالي فإن هناك تكهنات بأنه قد يكون هناك تفاهم حالي تقدم فيه الولايات المتحدة ضمانات دفاعية للحكومة السعودية وفي المقابل تستخدم قوتها في تسويق النفط لخفض أسعار النفط العالمية، ومن ثم زيادة تأثير العقوبات على روسيا (Engdahl 2014)، لكن هذا يمكن أن يكون مجرد تكهنات وذلك لأن تفاصيل التفاهمات الأمريكية السعودية هي سرية.

4-7: تغير المناخ

إن العملاق السياسي في القاعة هو قضية تغير المناخ، إذ تم الاعتراف بقضية انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون منذ عقود، ولكن حتى الآن لم يتم اتخاذ أي إجراء سياسي متضافر للتخفيف من الضرر، إن واحدة من المشاكل مع اتخاذ الحكومة إجراءات مستقلة فيما يتعلق بالمناخ هي مأساة مشكلة المشاعات، وينص هذا في الأساس على أن القرارات الاقتصادية للفرد قد تكون غير اقتصادية لمورد مشترك . إن المثال الكلاسيكي على ذلك هو الرعي الجائر لأراضي المراعي المشتركة التي يستخدمها جميع المزارعين في المجتمع، إذ ستوافر المراعي ماشية جيدة التغذية للجميع لكن بشرط عدم الإفراط في الرعي، وأن الفائدة التي تعود على المزارع الفردي من إضافة حيوان إضافي إلى قطيعه هي أكبر من النقص في الفائدة الإجمالية التي تسببها هذه الإضافة للمجموعة، لكن إذا فعل كل مزارع ذلك فإن المراعي المشتركة تصبح

مرعوبة بشكل متزايد ويخسر الجميع، وبالإضافة إلى المراعي المشتركة فإن مصايد الأسماك تواجه المشكلة نفسها، وفي مقال كلاسيكي حول هذا الموضوع فقد لاحظ عالم البيئة غاريت هاردين Garrett Hardin[*] (هاردين في عام 1968) أن هذه ليست مشكلة يمكن حلها بالتكنولوجيا، ولكنها تتطلب تغييراً اجتماعياً، وفي العقود القادمة يمكن الاستشهاد بالتخلص من غاز ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي كمثال على هذه المشكلة الاقتصادية، ويكاد يكون من المؤكد أنه السبب في أن المفاوضات العالمية للحد من انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون لم تحرز أي تقدم لأكثر من 20 عاماً وذلك على الرغم من تزايد إلحاح المشكلة.

هناك قضية يجب إثباتها بأن العديد من الاستخدامات الحالية للوقود الأحفوري هي غير فعالة لدرجة أن هناك فائدة اقتصادية يمكن اكتسابها ببساطة عن طريق زيادة كفاءة استخدامها (انظر Irfan 2014)، إن اعتماد تحسينات الكفاءة هذه على نطاق واسع يمكن أن يكون لها تأثير كبير في انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون العالمية، ونظراً لأنها مفيدة اقتصادياً بغض النظر عن المشاعات الجوية العالمية فإنه يمكن تنفيذ هذه التغييرات محلياً . من المرجح أن تشجع الحكومة الوطنية أو حتى الحكومة المحلية على من مثل هذه الكفاءات، مما يعني أنه من المرجح أن تتغير الضرائب والرسوم المحددة المستخدمة في قرارات التمويل، وستوافر من مثل هذه التغييرات فوائد قصيرة الأجل لكل من المنفذين والمستفيدين العالميين من الغلاف الجوي، وذلك على الرغم من أنها تؤجل انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون الإجمالية في مشكلة المشاعات بدلاً من حلها، لكن الإصرار على الحلول العالمية فقط لانبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون هو جعل الكمال عدواً للخير.

(*) كان غاريت جيمس هاردين Garrett James Hardin وهو عالم بيئة أمريكي قد حذر من مخاطر الزيادة السكانية البشرية، وقد اشتهر بتفسيره لمأساة المشاعات، وفي ورقة بحثية صدرت له في عام 1968 تحمل العنوان نفسه في مجلة Science كانت قد لفتت الانتباه إلى «الضرر الذي يمكن أن تلحقه الأفعال البريئة بالبيئة»..

اقترح نوردهاوس Nordhaus في عام 2014 مقاربة عملية للمأزق الدولي بشأن مفاوضات المناخ، فهو يقترح أن تشكل البلدان «أندية مناخية» climate clubs، ولكي تكون عضواً في النادي فإن الدولة ستحتاج إلى تلبية معايير محددة فيما يتعلق بانبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون، لكن فوائد العضوية في النادي وتحديداً فروق التعريفات ستعوض عن أي تكاليف يتم تكبدها، وفي الأساس فإن مأساة المشاعات تنشأ من الفوائد التي لا تتناسب مع التكاليف بسبب الفوائد التي يتم تقاسمها عالمياً والتكاليف التي يتم تحملها محلياً . يشير نوردهاوس الذي يستخدم بحثه نماذج اقتصادية عالمية معقدة، إلى أن النادي الذي يفرض ضرائب على غاز ثاني أوكسيد الكربون بما يتراوح بين 25 دولار و 50 دولار للطن سوف يجذب معظم الدول كأعضاء، وفي جوهره يقترح أنه إذا اعتمد البعض من مستخدمي المشاعات «النادي» على قواعد تمنع «الإفراط في الرعي»، فيمكنهم تطبيق هذه القواعد بشكل فعال على الآخرين.

يتزايد الضغط السياسي لمعالجة قضية تغير المناخ، لكن ما زال من غير الواضح كيف سيتم القيام بذلك، إن «نادي المناخ» ما هو إلا اقتراح واحد في هذا الشأن.

إن مشروع تعقب الكربون (Leaton 2012) ومقره لندن يثير قلقاً سياسياً آخر، وهو يشير إلى أن شركات النفط المتداولة علناً تضع قيمة نقدية لاحتياطيات النفط التي لا تزال في باطن الأرض، وفي حين أن هذه الأرقام متحفظة فيما يتعلق بكمية النفط التي قد تكون متاحة تقنياً، إلا أنها في الواقع جد سخية عند النظر إليها من منظور انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون، وأنه لا يمكن ببساطة إنتاج ما بين 70% و 80% من احتياطيات النفط المكتشفة في العالم (أو حرقها بدقة أكبر) إذا أريد تحقيق أهداف تغير المناخ، ولقد أعطيت المشكلة اسماً وهو : «الأصول العالقة» التي هي عبارة عن أصول مالية لا يمكن استخدامها، وهناك آثار مالية مهمة لها. إن تقليص الأصول المالية للشركات ليعكس أن بعضها قد تقطعت به السبل، سيؤدي ومن حيث المبدأ إلى خفض قيمة ثروة الشركة ومن ثم خفض قيم أسهمها،

وهناك تكهنات بأن الاعتراف الكامل بمشكلة الأصول العالقة يمكن أن يؤدي إلى بيع كبير لأسهم شركة النفط، وتتحرك الأسواق المالية أسرع بكثير من التغيرات من الناحية السياسية التي بدورها تتحرك أسرع بكثير من التغيرات في التكنولوجيا الأساسية واستخدام الطاقة، فإذا أصبح المجتمع المالي والاستثماري قلقاً بشأن من مثل هذه الأصول التي تقطعت بها السبل، فإنه من المحتمل حدوث أزمة مالية (Carrington 2013).

سيكون هناك دائماً خاسرون عندما تتغير السياسة الاقتصادية، إذ يمكن للحكومات تغيير تقييمات الأصول بشكل فعال أو تدمير توقعات الأرباح بجرة قلم، ولا تتم مناقشة التعويض عن قيمة الأصول المفقودة على الإطلاق (Hayes 2014) . يميل الحوار السياسي حول توقعات الأرباح إلى منع التغييرات في النشاط المربح حالياً بدلاً من السماح بتمويل المشروع الحالي ليتم دمجه تدريجياً في بيئة السياسة الجديدة، وقد تكون الاعتراضات فلسفية (Oreskes and Conway 2010) أو تستند إلى مصلحة مالية مكتسبة (Manne 2012).

إن الشغل الشاغل الرئيس لتغير المناخ هو انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون، ونظراً لأن أحداث الطقس توضح بشكل متزايد تغير المناخ، فإنه من المحتمل أن يزداد الضغط السياسي لمعالجة مخاوف غاز ثاني أوكسيد الكربون وتغير المناخ (Lifton 2014)، وفي الواقع فإن شركات النفط الكبرى تفترض هذا الأمر وكانت قد أدرجته بالفعل في التنبؤ الاقتصادي واتخاذ القرار (Schapiro and Scorse 2014) . إن النتيجة الصافية للبيئة السياسية فيما يتعلق بتغير المناخ هي أنه قد تكون هناك تغييرات كبيرة في الاستعداد السياسي «الفعل شيء ما» بحلول عام 2020، وبينما يعد هذا احتمالاً قوياً إلا أنه لا يزال هناك قدر كبير من عدم اليقين بشأن الشكل الذي قد تتخذه هذه التغييرات، وأن عدم اليقين هذا يجعل النماذج المالية أقل دقة ومن ثم فإنه يمنع الاستثمار، وينطبق هذا بخاصة على صناعة النفط، إذ تتمتع معظم المشاريع بعمر طويل بشكل خاص، مما يعني أنه يتعين على المخططين وضع افتراضات ليس للعقد القادم فحسب ولكن للنصف قرن المقبل.

إن النقطة الحاسمة التي يجب إدراكها هي أن التكاليف الفنية وتمويل المشروع إلى جانب التوافر الجيولوجي للوقود الأحفوري، هي ليست سوى جزء من مستقبل صناعة النفط والغاز. وأن «العلم الصعب» لهذه الجوانب من العمل يتم تطبيقه في بيئة سياسية تتغير دائماً، وأن هذا الوضع السياسي له تأثير كبير في تطور الأعمال.

الفصل الثامن

التنبؤ بإنتاج واستخدام الغاز الطبيعي والنفط

تتطور صناعة النفط والغاز الطبيعي بسرعة وذلك نظراً لأن هذين النوعين من الوقود الأحفوري مترابطان بشكل وثيق في التواجد الجيولوجي وتكنولوجيا الإنتاج والاستخدام النهائي، ويجب أن يتم أخذهما معاً، والسؤال الآن هو كيف يحتمل أن تتطور هذه الصناعة خلال العقد أو العقدين القادمين؟

باستعراض حال النفط من الفصل الرابع فإن ذروة إنتاج النفط لحقول النفط الخام «التقليدية» كان قد تم تجاوزها، وبينما لا يزال هناك الكثير من النفط في الأرض فإن مؤشر عائد الطاقة على الاستثمار للاكتشافات الجديدة كان قد انخفض بشكل كبير ولن يعود إلى القيم القديمة له . إن جميع الآفاق النفطية المستقبلية الجديدة هي ما تسميه الصناعة بـ «النفط عالي التكلفة»، وهناك عدد من أنواع النفط عالي التكلفة: من مثل مناطق القطب الشمالي، وآفاق المياه العميقة، ورمال القار، وموارد النفط الضيقة البرية، حتى أن أكبر الشركات لديها قيود على رأس المال، وأن هذه القيود ستوجه أي من فرص النفط باهظة الثمن سيتم استغلالها أولاً.

لقد تم مناقشة هذه الموارد بالفعل في الفصول السابقة، وأن المراجعات أدناه تركز على المخاطر التي تنطوي عليها هذه الموارد، ومن ثم فإن هناك احتمال أن تصبح هذه الموارد جزءاً من مستقبل الطاقة في العالم أو لا تصبح .

8-1: بيئات جديدة قاسية

تبحث كل من مناطق القطب الشمالي وبرامج التنقيب في المياه العميقة عن حقول نفطية تقليدية؛ أي الحقول حيث تم احتجاز النفط بعد الهجرة إلى

مكامن قابلة للاختراق بشكل معقول، وأن الجيولوجيا والإنتاج تشبه حقول النفط التي تم تطويرها على مدار المائة عام الماضية، وعلى هذا النحو فهي كمية معروفة . إن التحدي والنفقات ناتجة عن الظروف البيئية القاسية التي تتطلب استثمارات رأسمالية بمئات الملايين ومليارات الدولارات في كثير من الأحيان في المشاريع التي هي غالباً ما يكون لها عوائد مالية أولية بعد خمس سنوات أو أكثر. يمكن أن تقترب أوقات التعادل النقدي بسهولة من عقد من الزمان، وعلى الرغم من التوقعات التي تظهر أن الربحية تمتد بعامة على مدى فترة أطول، وأن هذه المتطلبات الرأسمالية العالية والمسبقة للمشاريع الفردية تجعل من الصعب حتى على أكبر الشركات تجنب تدمير المقامرين، حتى عندما تنتشر المخاطر من خلال الشراكات والمشاريع المشتركة وغيرها من تقنيات التخفيف من المخاطر.

يقدم تطوير حقل كاشاجان Kashagan في كازاخستان أمثلة على هذه الأنواع من المشاكل (Scheck 2013) ومن ثم على المخاطر التي تنطوي عليها وهي أن حقل كاشاجان هو حقل عملاق وباحتياطيات تقدر في حدود 10 مليار برميل، وكان قد اكتشف في عام 2000 وتم تأجيل الإنتاج مراراً وتكراراً بسبب مشاكل مختلفة . يقع هذا الحقل في بحر قزوين ولكن المياه ضحلة، وفي الواقع فإنه حقل جد ضحل لدرجة أن تطوير الحقل يتطلب مزيجاً من التقنيات البحرية والبرية، وهي التقنيات التي كان يجب تصميمها بشكل متكرر خصيصاً لهذا المجال، مما يجعل التطوير باهظ التكلفة من مثل بيئة المياه العميقة، كما أن الموقع هو بعيد ويتطلب نقل المواد والأشخاص ودعمهم، أما المناخ فهو مناخ قاسٍ إذ يتسبب الجليد الشتوي في مشاكل غير متوقعة في المياه الضحلة وأن القائمة تطول . تواجه المناطق الحدودية في القطب الشمالي والمحيطات العميقة تحديات مماثلة ونفقات ناتجة في ظروف جديدة وغير مألوفة، وأن أهمية التوقيت تُذكر في تمويل المشروع فمن السهل أن نرى لماذا تغيرت مصالح ملكية شركة النفط الكبرى في مشروع كاشاجان بشكل متكرر على مر السنين.

2-8: رمال القار

بينما تتطلب رمال القار استثمارات رأسمالية ضخمة أيضاً فإن لها مخاطر مختلفة كذلك، فبالنسبة لرمال القار، فإن كل من الجيولوجيا وتكنولوجيا الاستخراج هما معروفتان جيداً، ومن ثم فإن كمية النفط القابل للاستخراج هي معروفة أيضاً وأنه بالإمكان إدارة مخاطر الإنتاج، ويتم تعدين البعض من الحقول الكندية، إذ يجب فصل البيتومين عن الرمل ومعالجته لاحقاً إلى شيء يقارب النفط الخام[1]. لكن الكثير من الأحداث الكندية المعروفة وجميع الأحداث الفنزويلية هي أعمق من أن يتم استخراجها اقتصادياً . يجب استخلاص البيتومين بمزيج من الحرارة في الموقع والمعالجة الكيميائية، ولا يمكن أن يدخل النفط المنتج سوق النفط الخام إلا بعد تحويله إلى خام صناعي، وفي حين أن جميع أنواع النفط عالية التكلفة معرضة لمخاطر السوق، فإن تكاليف المعالجة الأولية المرتفعة تجعل أسعار النفط المرتفعة أمراً ضرورياً لهذه المشاريع، ومن ثم فإن توقعات أسعار النفط تمثل عامل الخطر الأساس في هذا الموضوع.

في حقول النفط التقليدية فإن التكلفة العالية هي نفقات رأسمالية مقدمة، وأن تكاليف التشغيل هي ليست النفقات الرئيسة في التحليل الاقتصادي الأولي، ومن الناحية الاقتصادية فإنه بمجرد بدء الإنتاج يكون لاكتشاف النفط في المياه العميقة تكاليف إنتاج حدية منخفضة نسبياً . هذا يعني أنه بالإمكان الاستمرار في إنتاج معظم حقول النفط بأرباح تشغيلية جارية حتى عندما تنخفض الأسعار، في حين أن انخفاض أسعار النفط قد يجعل المشروع أقل جاذبية من الناحية المالية بشكل إجمالي، فإنه بمجرد إنفاق رأس المال الأولي لن يكون لانخفاض أسعار النفط تأثير كبير في معدلات الإنتاج وأحجامه، وسيكون هناك هامش أقل لسداد رأس المال، أي للوفاء بمدفوعات الفائدة

(1) إن هذا المنتج هو واحد من عدة أنواع مختلفة من النفط الخام الصناعي، ومع واحدة من أولى الشركات الكندية لاستغلال رمال القار المسماة Syncrude، وأنه بالإمكان تصنيع أنواع أخرى من الخام الاصطناعي ، ومعظمها يأتي من الفحم.

ودفع توزيعات الأرباح، ومن ثم فإن الشركات التي ليس لديها سوى النفط عالي التكلفة في محفظتها سوف تتعرض للضغط المالي، لكن بالنظر إلى الأمام فإنه من المرجح أن تستمر العملية المادية بدلاً من إغلاقها، وفي الواقع سوف تميل الأسعار المنخفضة إلى تشجيع زيادة الإنتاج من أجل الحفاظ على توقعات الإيرادات.

ليس الأمر كذلك مع رمال القار، ففي حين أن هناك تكاليف رأسمالية كبيرة في فتح منجم أو إنشاء مخطط استخراج في الموقع، فإن هناك أيضاً تكاليف تشغيلية كبيرة جارية في تحويل المورد إلى خام صناعي، وتعني هذه التكاليف التشغيلية المرتفعة أن انخفاض سعر النفط العالمي يمكن أن يجعل العمليات الجارية غير مربحة بسرعة كبيرة.

3-8: النفط الضيق

عندما ننتقل إلى النفط الضيق فإننا نجد حالة أخرى مختلفة، وهي أن حجم رأس المال اللازم للمشاركة في تنافس النفط الضيق هو أقل بكثير، وأنه بالإمكان توزيعه على عدد أكبر من المخاطر المستقلة . يتحدث دعاة الصناعة عن موارد النفط الضيق عن «حفر المصنع» factory drilling أو «حفر خط التجميع» assembly line drilling، وهذا النهج يعالج مشكلتين في وقت واحد؛ الأولى - إنه يقلل من تكلفة كل بئر، والثانية - إن الإيرادات من الآبار الأولى المحفورة متاحة لدفع تكاليف حفر الآبار الإضافية.

تختلف المخاطر التي تنطوي عليها أية بئر في تنافس النفط «الضيق» إلى حد ما عن التنافس التقليدي، ففي المنافسة التقليدية فإنه من الضروري إيجاد مزيج جيولوجي من المصدر، والهجرة إلى مكمن مسامي، وأخيراً البعض من آليات الاصطياد. بمجرد تحديد حقول المصدر الجيولوجي في الحوض، فإن الكثير من المخاطر في المنافسات التقليدية تأتي من مشاكل العوامل الأخرى - في أغلب الأحيان إما أن الهجرة إلى صخور المكمن المسامية لم تحدث كما هو متوقع، أو أن المصيدة غير فعالة و لقد مر النفط المهاجر من خلال المصيدة وفُقِد على مر العصور الجيولوجية، في الحقول «الضيقة» فإن هناك مجال

ضئيل لترحيل النفط، وبعد الآبار الأولية فإنه من المعروف أن المقاطعة لديها المصدر المطلوب ولا يزال النفط أو الغاز هناك . ومن ثم فإنه في حين أن هناك العديد من «الثقوب الجافة» في التنقيب عن النفط التقليدي فإن هناك عدد أقل بكثير في التكوينات الضيقة، وبدلاً من ذلك فإن الخطر يتغير إلى أحد معدلات الاستخراج، كما أن تفاصيل أفضل السبل لجمع النفط من الطبقات غير المنفذة في البئر الأفقية تعد واحدة من القضايا الهندسية في المقام الأول.

هناك خطر عدم «هبوط» البئر في أفضل طبقة أفقية، وخطر ألا يتم التكسير في مرحلة معينة كما هو مخطط له، وخطر أن التدفق التفصيلي إلى البئر لن يكون كما هو متوقع . يتطلب الانخفاض السريع في الإنتاج عدداً كبيراً من الآبار، والنتيجة هي أن التخطيط لبرنامج حفر الآبار على مدى فترة زمنية قد يشمل العشرات إن لم يكن المئات من الآبار.

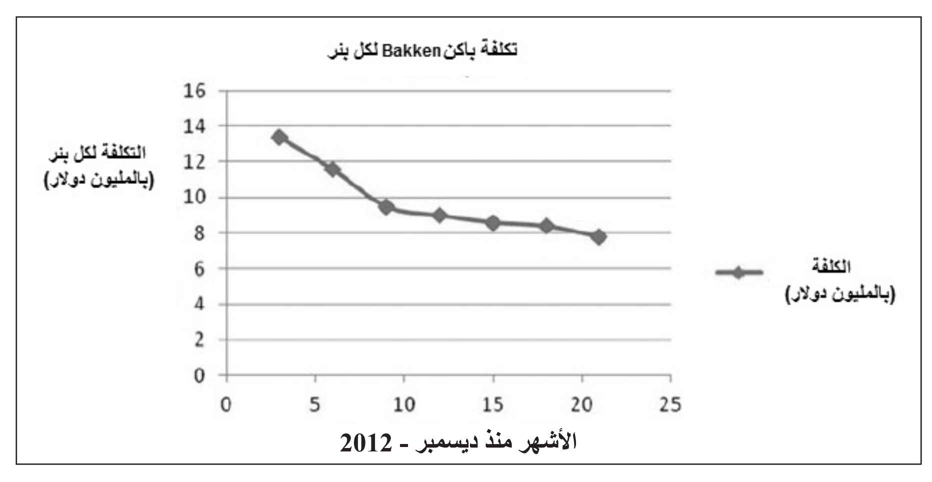
وبتذكر نموذجنا المالي مرة أخرى، فإن الانخفاض السريع في معدلات الإنتاج في الحقول «الضيقة» يجعل الأشهر القليلة الأولى من إيرادات الإنتاج حاسمة للصحة المالية للعملية ككل، وبهذا المعنى يبدأ النموذج المالي في أن يكون مشابهاً لنموذج المصنع، إذ يوجد البعض من التكاليف الأولية للبناء (مفهوم الاستكشاف وامتلاك الأرض)، وبعد ذلك يتم تطوير حالة إنتاج ثابتة مع تكاليف المواد الخام (تكلفة الآبار الجديدة) التي تدفعها مبيعات النفط من جميع الآبار السابقة . لقد تم الإبلاغ عن اعتماد من مثل هذه الأساليب «حفر المصنع» لتقليل التكاليف بنسبة تصل إلى 40% .(Forbes and Wilczynski 2010) لكن مع ذلك فإنه إذا كان هناك انخفاض ملحوظ في الإيرادات من الآبار الجديدة فإن البرنامج بأكمله معرض للخطر.

لدى البعض من المحللين شكوك جدية في أن مستوى الإنتاج المستمر يمكن أن يدعم من مثل هذه العملية المستمرة على مدار أي فترة زمنية (Patterson 2014)، ويشير آخرون إلى أن الطريقة التي تدفع بها معدلات الإنتاج الأولية المرتفعة مقابل الآبار الإضافية ليست أكثر من مخطط

بونزي Ponzi scheme [*] (Washington's Blog 2014). بالإضافة إلى ذلك فإنه في حين أن مساحة «حقل» النفط المحكم قد تكون كبيرة فإنه يجب أن تكون هناك حدود، لذلك لا يمكن لهذه العملية أن تستمر إلى ما لا نهاية، ولكل هذه الأسباب فإن هناك عدد من المؤشرات على أن الإنتاج لكل بئر للنفط الضيق، على الأقل في حقل Bakken تبين أنه كان قد بلغ ذروته بالفعل، مع تحديد أفضل الآفاق النفطية المستقبلية واستغلالها(Brandt et al. 2015).

تم نشر الاستخدام المشترك للحفر الأفقي والتكسير الهيدروليكي fracking لاستغلال المكامن الضيقة على نطاق واسع لمدة عقد تقريباً، وهذا يعني أن الصناعة لديها مجال كبير لإجراء تحسينات تقنية على هذه التقنيات، فعلى سبيل المثال يتم استغلال مكمن ضيق عادةً من «وسادة» Pad بدلاً من أن يكون لكل بئر تركيب سطحه الخاص به . تُعد الحفارات التي يمكنها توجيه البئر أفقياً أكثر تعقيداً بكثير من الحفارات التي تقوم بالتنقيب مباشرة فحسب، ومن ثم فإنها تكون أكثر تكلفة في التشغيل، لذلك ستبدأ الشركة بحفارة رأسية بسيطة على منصة وحفر جميع الآبار المتوقعة من تلك الوسادة نزولاً بالقرب من المستوى المستهدف . (Frantz 2014) سيتم بعد ذلك نقل الحفارة الأغلى ثمناً ذات القدرة الأفقية وذلك لحفر الجزء الأفقي من البئر، اعتماداً على الحقل المحدد فإن هذا الأمر سيوفر عدة أيام من وقت الحفر الباهظ لكل من آبار المنصة، يتمثل التوفير الآخر في جعل الوسادة أكبر إلى حد ما بحيث يمكن لمزيد من الآبار استخدام البنية التحتية نفسها وبذلك ستتراكم المدخرات الناتجة، كما يتضح من انخفاض تكاليف كل بئر على مدى عامين في أعمال حقل باكن، وكما هو موضح في الشكل 8-1.

(*) إن مخطط بونزي هو شكل من أشكال الاحتيال يجذب المستثمرين ويدفع الأرباح للمستثمرين الأوائل بأموال من مستثمرين أحدث، وهذا المخطط يقود الضحايا إلى الاعتقاد بأن الأرباح تأتي من مبيعات المنتجات أو غيرها من الوسائل، ولا يزالون غير مدركين أن المستثمرين الآخرين هم مصدر الأموال.



الشكل 8-1 : التكاليف لكل بئر في حقل باكن

(Source Pan 2013)

نظراً لأن تطوير النفط والغاز الضيق عبر نموذج حفر المصنع ينطوي بشكل أساس على حساب الآبار البرية، فإنه يمكن للشركة بسهولة تعديل وتيرة أنشطتها وفقاً للسعر الحالي للنفط أو الغاز، وفي البيئة الحالية لأسعار النفط المنخفضة فقد واجه البعض من الشركات التي كانت تتمتع برافعة مالية عالية من الناحية المالية مشاكل في انخفاض النشاط، لكن آخرين تمكنوا من تحمل أسعار النفط والغاز المنخفضة للغاية في العام الماضي بشكل جيد بشكل مدهش (Durham 2016) . لا تزال هيئة المحلفين غير معروفة بشكل فعال بشأن ما إذا كان من المربح بشكل عام للشركات المشاركة في زيادة إنتاج النفط الضيق في الولايات المتحدة. هناك نُقاد جادون (من مثل;Hughes 2014 Berman 2015)، لكن الشركات الكبرى التي تواصل هذا النشاط تدل على النماذج المالية الداخلية التي تتوقع الربحية.

هناك نقطتان تم طرحهما بالفعل تستحقان التكرار فيما يتعلق بالنفط والغاز الضيق: **أولاً**: إن كونه مربحاً فهذا لا يعني الشيء نفسه من مثل توفير الطاقة التي يحتاجها الاقتصاد، **وثانياً**: أن البعض من الشركات يمكن أن يكون مربحاً في مواقف محددة بينما نشاط الصناعة ككل هو ليس كذلك.

هناك أيضاً سؤال كبير حول ما إذا كانت تقنية النفط الضيق قابلة للتطبيق في مناطق خارج الولايات المتحدة الأمريكية، وهناك بالتأكيد مناطق جيولوجية معروفة بأنها آفاق نفطية مستقبلية جذابة لهذه التقنيات على أساس تقني . إن الفارق الرئيس بين الولايات المتحدة والمواقع الأخرى هو الملكية الخاصة للنفط، وكما ذكرنا سابقاً فإن القانون في الولايات المتحدة ينص على أن مالك سطح الأرض يمتلك أيضاً النفط على بعد آلاف الأمتار تحته، ومن الناحية التاريخية كان هذا يعني أن صناعة النفط في الولايات المتحدة قد شجعت أصحاب الأملاك الفردية على حفر الآبار - فإذا وجدت الشركة النفط أو الغاز فسيحصل مالك الأرض على ملكية، وعادةً ما يكون الدفع لمالك الأرض مقابل أي نفط يتم العثور عليه بين 12% و 25% من النفط أو الغاز عند إنتاجه، وفي خارج الولايات المتحدة الأمريكية (وعدد قليل من الأماكن الأخرى) فإن الحكومة تمتلك عادةً الموارد في العمق، ومن ثم فإن ملاك الأراضي المحليين لا يستفيدون كثيراً، وفي الواقع قد يعترضون على الاضطرابات السطحية والمخاطر البيئية ليصبحوا قوة سياسية تعارض من مثل هذه العمليات.

فضلاً عن ذلك وفي العديد من الولايات القضائية فإنه من المرجح أن تتوقع الحكومة 50% على الأقل وغالباً أكثر من أي عائدات، وأنه يجب أن تكون الآفاق المستقبلية المالية للبئر أفضل بكثير في مثل هذه الحالات منها في الولايات المتحدة حيث تركز نشاط النفط والغاز الضيق حتى الآن، ولا يؤدي هذا إلى تغيير كبير في الآفاق المستقبلية الاقتصادية للشركة فحسب، بل يعني أيضاً أن هيكل الصناعة مختلف إلى حد ما . يوجد في الولايات المتحدة الأمريكية العديد من شركات النفط المستقلة الصغيرة، وبدعم من مجموعة من مقاولي الخدمة فإنهم يقومون بحفر العديد من الآبار، في حين أن توافر الحفارات ومقاولي الخدمة والدعم الآخر خارج أمريكا الشمالية محدود بدرجة أكبر، وبالإمكان ملاحظة ذلك في العدد الأخير من الحفارات في عام 2014، مع 1927 منصة في الولايات المتحدة الأمريكية و 1749 في جميع

أنحاء العالم (Baker Hughes 2014)[1]، وأنه ما يقرب من ربع الحفارات غير الأمريكية موجودة في كندا.

من بين هذا، فإن الكثير من النفط الذي تم اكتشافه بالفعل له تكاليف إنتاج منخفضة - إذ تم اكتشافه عندما لم تكن أسعار النفط مرتفعة للغاية، لذلك تم الاستثمار في تلك البيئة المالية، لكن النظرية الاقتصادية التقليدية ترى أن سعر السوق سيتم تحديده من خلال التكلفة الحدية للوحدة الأخيرة، ومن ثم فإن النفط الجديد الباهظ سينتج عنه أرباح كبيرة لأولئك الذين يتحكمون في الاحتياطيات المكتشفة بالفعل، ولكن لم يتم إنتاجها بعد . إن معظم هذا النفط المنخفض التكلفة موجود في المملكة العربية السعودية والبلدان المجاورة لها، إذ قد تجعله الظروف السياسية غير متوافرة، وبافتراض أنه قد تم إنتاجه يبقى أن نرى ما إذا كانت الأرباح العالية ستستخدم في الاستثمار أو التنمية المحلية أو الجهاد أو أي شيء آخر.

4-8: الغاز الطبيعي

إن شركات النفط هي شركات غاز أيضاً، لذا فإن عقودها المستقبلية متشابهة، كما لوحظ فإنه لم يكن الغاز عادة هدف التنقيب عن الهيدروكربون، لكن مع ذلك فإنه كثيراً ما يتواجد الغاز عند التنقيب عن النفط، ولقد تم العثور عليه مرتبطاً بالنفط ومن تلقاء نفسه . بالإضافة إلى مواقع الهيدروكربون فإن الغاز يوجد مرتبطاً بالفحم؛ وفي الواقع لأن الميثان يمكن أن ينفجر فهو خطر في مناجم الفحم، ولكن في طبقات الفحم الجد العميقة التي لا يمكن تعدينها اقتصادياً فإن هذا الغاز لا يمكن استرداده عن طريق الحفر فحسب، ولكن يمكن أيضاً تحويل الفحم إلى غاز الميثان في الموقع نفسه، ونتيجة لذلك فإنه لا يوجد خطر كبير في أننا كنا قد وصلنا إلى «ذروة الغاز». تقدر وكالة الطاقة الدولية أنه من حيث الطاقة فإن هناك الترتيب نفسه لحجم الغاز

(1) قامت شركة Baker Hughes التي تصنع لقم الحفار ، بنشر عدد حفارات الحفر العاملة حالياً منذ عام 1944، وقد تم الآن الإبلاغ عن هذا الرقم على نطاق واسع واستخدامه كإحصاء صناعي.

الطبيعي في الاحتياطيات المعلنة من مثل النفط (190 × 1210 متر مكعب من الغاز 1.2 × 1210 برميل نفط مكافئ من الغاز الطبيعي مقابل 1.6 × 1210 برميل من النفط السائل) (IEA 2013; BP 2014) ، مع تحديد العديد من الموارد الإضافية بالفعل.

من المستحيل إجراء تحليل إحصائي لغاز الذروة بالطريقة نفسها المستخدمة في ذروة النفط، وعلى مدى تاريخ إنتاج النفط فإنه تم حرق الكثير من الغاز كمنتج ثانوي غير اقتصادي بحيث لا تتوافر أرقام الغاز التي يستند إليها من مثل هذا التحليل الإحصائي . (Deffeyes 2005) ويستمر الاشتعال على الرغم من انخفاضه مقارنة بالعقود الماضية (World Bank 2012)، ويعود هذا الانخفاض في الحرق لأسباب عدة، الأول هو زيادة القدرة على تسويق الغاز كوقود، الثاني هو الوعي بانبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون المعزز في بعض الحالات من خلال التنظيم ؛ والثالث لأنه منتج مفيد يمكن أن يعزز إنتاج النفط في الموقع . لكن مع ذلك فإن الاحتراق لا يزال مستمراً، مما يؤكد صعوبة استخدام هذا المورد في الإطار المالي الحالي، ويقدر البرنامج العالمي للحد من حرق الغاز التابع للبنك الدولي أنه يتم حرق ما يقرب من مليار برميل من المكافئ النفطي كل عام (World Bank 2012).

لولا تغير المناخ لكان من المحتمل أن يكون الغاز الطبيعي هو المصدر الأساس للطاقة في القرن الحادي والعشرين، وأن التطورات الرئيسة المطلوبة هي في ترتيب التمويل للنقل الأكثر تكلفة الذي يتطلبه الغاز الطبيعي على نطاق واسع.

يتطلب نقل الغاز من آبار الغاز إلى المستخدمين إما خطوط أنابيب أو شحناً متخصصاً ومخصصاً لهذا الغرض، وأن التكلفة الرأسمالية لمن مثل هذه المشاريع هي تكلفة ضخمة، وبمجرد أن يتم الاستثمار تصبح البنية التحتية الناتجة غير مرنة. على سبيل المثال إن خط أنابيب "Power of Siberia" الروسي الذي يمتد من حقل غاز ياكوتسك Yakutsk في وسط سيبيريا إلى الأسواق في شمال شرق الصين تقدر تكاليفه من 20 مليار

دولار إلى 70 مليار دولار(Korchernkin 2014; Hanner 2014)، وبالمثل فإن خط أنابيب ساوث ستريم South Stream المهجور الآن لنقل الغاز من ساحل البحر الأسود الروسي إلى بلغاريا كان سعره 10 مليار دولار لجزء البحر الأسود فحسب (Itar-Tass 2014)، ومع ما لا يقل عن ضعف هذا المبلغ المطلوب لمختلف الأجزاء البرية من طريق النقل الكامل. ولتمويل من مثل هذه المشاريع فإن هناك حاجة إلى نوع من عقد البيع طويل الأجل، ومن هنا جاء العقد الروسي الصيني الأخير لمدة 30 عاماً الذي يعد الأساس لبناء خط أنابيب "Power of Siberia" (Perlez 2014).

إن مشاريع الغاز الطبيعي المُسال (LNG) هي ليست بالضرورة أرخص، ولقد تم وضع اعتبارات التكلفة لإنشاء «تيار» للغاز الطبيعي المسال في مقال عام 2007 من قبل (Kotzot 2007) KBR وهو مقاول بناء صناعي رئيسي. وبعامة فإنه يتم شحن الغاز الطبيعي المسال بواسطة ناقلات متخصصة، لذلك يتكون مصنع المعالجة من المرافق اللازمة لقبول الغاز عند مدخل المصنع، إذ يتم تسليمه عن طريق خط الأنابيب، وتنظيفه وتبريده وتحويله إلى سائل، ويتم تخزينه حتى يمكن تحميله على ناقلة غاز طبيعي مسال، وأن التكلفة الإجمالية لمن مثل هذا «التيار» هي في حدود 1 مليار دولار . من البئر إلى الزبون يتطلب إضافة تكاليف خطوط الأنابيب لإيصال الغاز إلى مصنع الغاز الطبيعي المسال، وبناء ناقلات لدعم السائل المبرد، ومرافق الميناء المناسبة في كل من موانئ التحميل والتفريغ، ومصنع إعادة تحويل الغاز المسال إلى غاز، والتوزيع النهائي لخطوط الأنابيب للزبائن، وبالتزامن مع اكتشاف كبير للغاز من مثل حقل مامبا Mamba في موزمبيق فإنه يتوجب على المرء أيضاً إضافة تكاليف تطوير حقل الغاز بالكامل، وبذلك يصل إجمالي تقديرات التكلفة إلى نحو 50 مليار دولار (Offshore Technology 2014)، فإذا كانت المخاطر السياسية جد عالية فلن يتم تطوير الحقل؛ وإذا كان لا يمكن دعم التكاليف المجمعة بعقود طويلة الأجل فإنه سيتم التخلي عن المشروع بأكمله.

عندما تم استكشاف الكرة الأرضية بحثاً عن النفط في القرن العشرين فقد تم اكتشاف العديد من حقول الغاز التي تُركت ببساطة غير مطورة، ولقد جددت أسعار النفط المرتفعة في العقد الماضي الاهتمام بالعديد من هذه القضايا، ويجري وضع الخطط للاستغلال . نتيجة لذلك سيحدث شيئان: الأول هو أنه سيتم إنشاء البنية التحتية للغاز الطبيعي وتوسيعها، على سبيل المثال تفترض مشاريع الغاز الطبيعي المسال في الولايات المتحدة بالفعل وجود بنية تحتية للغاز الطبيعي في ساحل الخليج والأجزاء الشرقية من البلاد، بينما ستكون هناك حاجة إلى خطوط أنابيب جديدة لنقل الغاز من مناطق مارسيلوس Marcellus في ولاية بنسلفانيا إلى منشأة للغاز الطبيعي المسال على ساحل الخليج الأمريكي، فإن البنية التحتية الحالية تسمح بتلبية هذه الحاجة بطرائق عدة : الغاز الذي تم شحنه من تكساس إلى الشمال الشرقي سيكون المصدر لمشاريع الغاز الطبيعي المسال في منطقة ساحل الخليج، إذ يتم تقديم خدمة الزبائن الشمالي الشرقي منMarcellus ؛ وسيتم توسيع بعض خطوط الأنابيب الحالية؛ وسيتم بناء البعض من المباني الجديدة؛ وسيكون لدى البعض محطات توصيل ومضخات مثبتة بحيث يمكن أن تكون ثنائية الاتجاه، وبحسب احتياجات السوق المحلية . باختصار فإنه سيكون هناك العديد من المشاريع الصغيرة التي ستُجمع لزيادة السعة الإجمالية للشبكة، وبعامة ستتيح البنية التحتية المتزايدة أيضاً استجابات أكثر مرونة في السوق بين العرض والطلب، مما يجعل أية عقود طويلة الأجل ذات سعر ثابت أكثر خطورة، وثانياً سيتم اقتراح مشاريع أكثر بكثير مما سيتم بناؤه بالفعل.

ولكن حيث لم يتم تطوير من مثل هذه البنية التحتية المتنوعة بالفعل، فإن هناك العديد من الأسئلة، على سبيل المثال، ماذا سيحدث لكميات الغاز الهائلة المتوافرة في جنوب غرب إيران؟ يذهب البعض من الغاز الإيراني بالفعل كغاز طبيعي مسال إلى شرق آسيا، وهناك منشآت إضافية للغاز الطبيعي المسال قيد الدراسة لتلبية نمو السوق في آسيا، لكن هذا لا يستخدم المورد المحتمل بأكمله.

إن كل من خطوط الأنابيب لمسافات طويلة ومشاريع الغاز الطبيعي المسال لها تكاليف تشغيل كبيرة، وفي حالة الغاز الطبيعي المسال فإن تكلفة تبريد غاز الميثان إلى أقل من 164- درجة مئوية تتطلب طاقة كبيرة، وتتطلب المعالجة التحضيرية، وسيستخدم النقل طاقة إضافية . يمكن أن تتوقع أحدث تيارات الغاز الطبيعي المسال خسارة 10% من الغاز الذي يدخل المنشأة للتبريد فحسب (Center for Energy Economics 2006)، وقد تكون الخسارة أعلى إذا كان الغاز يحتوي على شوائب يجب تنظيفها قبل التسييل، وبالنسبة للنقل عبر خطوط الأنابيب فإن الخسارة تأتي من الحاجة إلى وجود محطات ضاغط دورية على طول خط الأنابيب، ولا يعني ذلك أن الغاز يتسرب (على الرغم من أن البعض منه قد يتسرب)، بل بالأحرى أنه بينما يتحرك الغاز عبر الأنبوب فإنه يوجد احتكاك داخلي، مما يبدد الطاقة الميكانيكية للضغط العالي إلى طاقة حرارية منخفضة الدرجة، وسواء أتم النقل عن طريق خط الأنابيب أم عن طريق الغاز الطبيعي المسال فإنه غالباً ما يكون الوقود المستخدم هو الغاز الطبيعي نفسه، مما يؤدي إلى الحاجة إلى إنتاج المزيد من الغاز أكثر مما هو متاح للبيع للزبون النهائي، وكدليل تقريبي للغاية فإنه سيتم استخدام ما بين 15% و20% من الغاز المنتج في حقل الغاز كحد أدنى وذلك في توصيل الغاز للمستخدم.

إن الإحصاءات العالمية لصناعة النفط والغاز هي مربكة في أحسن الأحوال، وهنا يثار التساؤل الآتي: هل الاحتياطيات تتزايد بالفعل؟ تشير إحصائيات وكالة الطاقة الدولية إلى أن كمية النفط والغاز التي يتم إنتاجها كل عام لا تزداد فحسب، بل تزداد الاحتياطيات أيضاً، وعلى الأقل حتى عام 2015 ومن وجهة نظر هوبرت Hubbert فإنه نظراً لأنه يجب اكتشاف النفط قبل أن يتم إنتاج هذا النمو الاحتياطي لذلك توقع نمو الإنتاج المحتمل. ولكن ليس من الصعب فقط تجميع الأرقام العالمية للاستثمارات الرأسمالية التي تم إجراؤها لدعم هذه البيانات، ولكن البعض من البيانات هي محيرة - لا سيما حقيقة أن البعض من البلدان يبدو أنها تنتج كميات كبيرة من النفط

دون الإعلان عن اكتشافات جديدة أو انخفاضات في احتياطياتها (Aleklett 2012) . تظهر شركات النفط الكبرى عكس ذلك: انخفاض الاحتياطيات على الرغم من إنفاق مبالغ ضخمة في التنقيب، تصل ميزانيات الاستكشاف المجمعة لكلٍ من ExxonMobile و Shell و Chevron إلى أكثر من 100 مليار دولار سنوياً ولا تحل محل احتياطيات الشركة المستهلكة خلال العام، وكما لاحظ أحد محللي الصناعة: إذا لم تحل شركة النفط محل احتياطياتها فإنها في النهاية ستتوقف عن العمل.

يجدر بنا وفي هذا السياق أن نتذكر أن جون د.روكفلر John D. Rockefeller كان قد بنى شركة ستاندرد أويل Standard Oil على أساس كونها مصفاة، وليس على أساس كونها شركة لاستكشاف النفط وإنتاجه . لقد كانت توقعات الطاقة في القرن العشرين هي أن وجود احتياطيات في الأرض كان يمثل نقطة التحكم الحاسمة، وقد تكون نقاط التحكم في الطاقة في اقتصاد القرن الحادي والعشرين في مكان آخر - ربما تتحكم في شبكات خطوط الأنابيب و / أو نقل الكهرباء لمسافات طويلة على سبيل المثال.

5-8: الطبيعة المتغيرة لأسواق الطاقة

إن احتكار الأسواق واحتكار القلة وهيكل الكارتلات في صناعة النفط الموصوفة بالفعل يعني أن الأسواق الحرة هي ظاهرة حديثة نسبياً، حتى سبعينات القرن الماضي كان سعر النفط المهم هو «السعر المعلن» (Oweiss 2014)، وهو السعر الاسمي للنفط، وفي البداية كانت الأسعار تستند إلى شحنة نفطية تم تحميلها على ناقلة في ميناء خليج المكسيك في الولايات المتحدة الأمريكية، ولقد كان السعر المعلن هو الأساس الذي تمت من خلاله إضافة فروق النقل والجودة . في أيام الأخوات السبع كانت الشركات النفطية تمتلك النفط في الأرض، وفي الغالب تقوم بشحنه في السفن التي تديرها إلى المصافي التي تمتلكها هذه الشركات أيضاً، ثم تقوم ببيعه أخيراً عبر قنوات التوزيع التي تمتلكها، ولقد كان هذا التكامل الرأسي طريقة لممارسة الأعمال التجارية التي عادت إلى احتكار شركة ستاندرد أويل Standard Oil ، وكان

هناك أسباب عدة لهذا الأمر، يتمثل الأول في أن النفط غير قابل للاستبدال بشكل كامل، والثاني يمكن أن يكون خفيفاً أو ثقيلاً، وأن النفط الخفيف يكون سلاسل هيدروكربونية أقصر والثقيل يكون سلاسل هيدروكربونية أطول، وأن البعض من أثقل النفوط تكون أكثر كثافة من الماء، ومن ثم فإنها تغرق بدلاً من أن تطفو، والثالث هو يمكن أن يحتوي النفط أيضاً على نسبة أكبر أو أقل من الكبريت، ويطلق على الذي يحتوي على النسبة الأقل بأنه نفط «حلو» sweet ويطلق على النفط الذي يحتوي على النسبة الأكثر من الكبريت بأنه نفط «حامض»sour .

تم بناء المصافي لمعالجة نوع معين من الخام، لذلك فإنه في حين أن المصفاة قد تكون قادرة على استيعاب النفط الخام الذي يختلف إلى حد ما عما تم تصميمه من أجله، إلا أن هناك حدوداً لمدى الاختلاف وكمية الخام المختلفة التي يمكن معالجتها، ومع انتقال النفط عبر شركات النفط المتكاملة رأسياً فإنه كان قد تم «بيعه» من الشركة الفرعية المنتجة إلى شركة النقل الفرعية إلى شركة التكرير الفرعية ثم إلى المستهلك في النهاية . تم بناء المصافي لمعالجة النفط الخام المتوافر لدى الشركة المنتجة، ولقد سمحت آلية السعر المُدرج للشركة بجني أرباحها في أي شركة فرعية تخضع لأقل ضريبة؛ ومن هنا سمح السعر المعلن للصناعة بالتكيف إلى حد ما مع العرض والطلب مع الحفاظ على الهيكل المربح بأكمله، وستقوم الشركات خارج النظام بشراء هذا التدفق للنفط أو بيعه بالأسعار القائمة على تلك المستخدمة للتدفقات الداخلية للنفط للشركة، لكن هذه المبيعات الإضافية لم تكن الجزء الأكبر من إمدادات النفط، ومن ثم فإنه لم يكن لها تأثير كبير في الأسعار في أي مرحلة.

إن حقيقة أن السعر المعلن ظل منخفضاً بالنسبة لمختلف البلدان المنتجة وأن الزيادة إلى سعر السوق تم إجراؤها في داخل الشركة بطرائق أدت إلى تعظيم المزايا الضريبية للشركة وأرباحها، كان هو السبب الرئيس وراء تأسيس أوبك OPEC في عام 1960 . بعد ذلك تم فرض حظر النفط في عام 1973، وكان نظام التسعير هذا هو النظام المستخدم، والأهم من الحظر المؤقت هو أن أوبك تولت

تحديد السعر المعلن للنفط الخام ورفعته تقريباً من 3 دولارات للبرميل إلى 12 دولار للبرميل، ومنذ سبعينات القرن الماضي أصبحت الأسواق الفورية ذات أهمية متزايدة في تحديد أسعار النفط مع وجود عقود معيارية للمراكز المالية في لندن ونيويورك - خام برنت Brent في حالة لندن و WTI غرب تكساس الوسيط في حالة نيويورك - التي يتم الرجوع إليها في مقابل معظم العقود الأخرى . بالنسبة للنفط فإن الأسعار حول العالم تميل إلى الصعود والهبوط على أساس عالمي، إذ تمتلك كل من لندن ونيويورك أسواقاً للعقود الآجلة بناءً على العقود الفورية القياسية، ويحدث النطاق الكامل للتداول المالي والمضاربة والتحوط، ونتيجة لذلك فإن هناك ثقة بإمكانية تسويق الاستثمارات النفطية في هذه البيئة العالمية، وفي الوقت نفسه فإن هذا يعني أن شركات النفط لم تعد قادرة على إدارة ربحيتها داخلياً من خلال التحولات في الأسعار الداخلية.

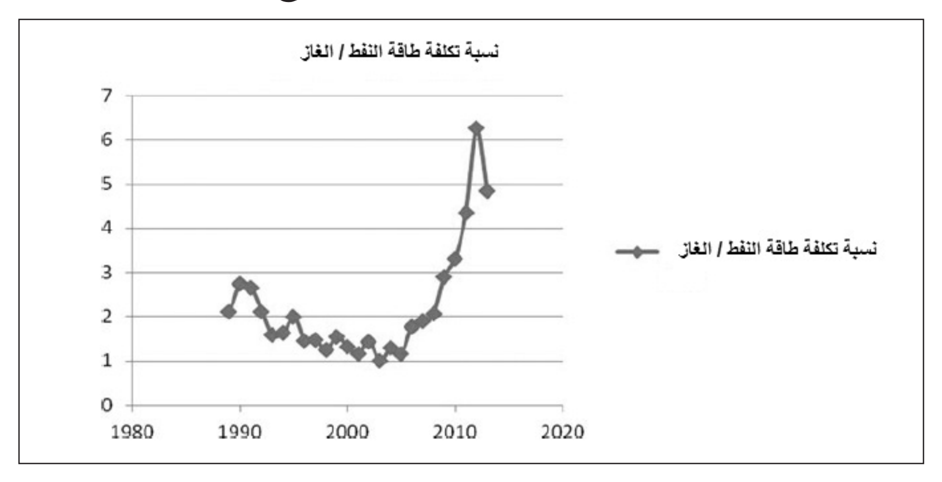
وفي المقابل فإن أسواق الغاز مجزأة وغير مؤكدة بدرجة أكبر، وأن التكاليف الرأسمالية المرتفعة لتركيب البنية التحتية غير المرنة إلى حد ما لإيصال الغاز إلى السوق تضاف إلى متطلبات رأس المال المسبقة لتطوير الحقل . معاً يتطلب هذا الأمر تمويلاً طويل الأجل، ويتطلب التمويل طويل الأجل عقوداً طويلة الأجل، وتميل هذه العقود إلى ربط المنتج والبائع معاً، ومثال على ذلك هو العقد الروسي الصيني لمدة 30 عاماً المذكور سابقاً، ولكن ما هو السعر الذي يجب أن تحدده من مثل هذه العقود طويلة الأجل؟

عندما بدأ تطوير الغاز الطبيعي لأول مرة، كانت سوق الغاز تُعد سوقاً محلية، وكان لدى معظم المدن إمدادات الغاز، ولكن بعامة كان الغاز مصنوعاً من الفحم ومهما كان المصدر فإن السعر كان محدداً للوضع المحلي، وعندما تم استغلال الغاز الطبيعي الكبير لأول مرة في هولندا، كان القرار هو تسعيره بالنسبة إلى الطاقة المكافئة للنفط . إن الكثير من شبكة الغاز الطبيعي في أوروبا مع مصادر خطوط الأنابيب اليوم في بحر الشمال وروسيا وشمال إفريقيا، ومع كميات إضافية من الغاز المستورد كغاز طبيعي مسال لا تزال مقيدة بالتسعير بموجب عقود طويلة الأجل مرتبطة بسعر النفط، وفي الولايات المتحدة كانت

أسعار الغاز الطبيعي ثابتة في التجارة بين الولايات الأمريكية حتى الثمانينات. كانت الأسعار منخفضة في البداية وذلك لأن الولايات المتحدة كمنتج رئيس للنفط كان لديها قدر كبير من الغاز الطبيعي المتاح كمنتج ثانوي لإنتاج النفط، لكن السعر المنظم بين الولايات لم يواكب محتوى الطاقة أو أسعار النفط، مما أدى إلى نقص الغاز في السوق بين الولايات وارتفاع الأسعار في الأسواق البينية تماماً ولا سيما في تكساس . لكن عندما تم تحرير سعر الولايات المتحدة الأمريكية، فقد تطورت السوق الفورية بسرعة لأنه بحلول هذا الوقت كانت هناك شبكة خطوط أنابيب واسعة النطاق يمكن أن تربط عدداً كبيراً من المنتجين والمستهلكين المستقلين . تعتمد أسواق الغاز الطبيعي في شرق آسيا (اليابان وكوريا وشمال شرق الصين) بشكل كامل تقريباً على واردات الغاز الطبيعي المسال، وكما هو مذكور أعلاه فإن هذه الأمور لها عقوبات كبيرة على الطاقة بسبب كل من الطاقة اللازمة للتسييل والنقل، والنفقات الرأسمالية اللازمة لبناء هذه المرافق، والنتيجة هي عقود طويلة الأجل بدون أي أساس باستثناء النفط بسعر مرجعي.

والنتيجة هي أنه على العكس من النفط فإنه لا توجد سوق عالمية للغاز الطبيعي، إن القدرة على نقل شحنة من الغاز الطبيعي المسال من ميناء إلى آخر تجعل آسيا سوقاً واحدة بشكل أساس، لكنها تتميز بالتكاليف المرتفعة لمعالجة الغاز الطبيعي المسال . إن الولايات المتحدة مع إمدادات الغاز الجديدة الوفيرة التي تأتي من تشكيلات الغاز الضيقة وشبكة خطوط الأنابيب المتطورة التي تحتاج فقط إلى دعم مسافات نقل قصيرة إلى حد ما لديها حالياً تكاليف غاز طبيعي منخفضة تحددها الأسعار الفورية وأوروبا في موقع وسيط . تتوقع كل من وكالة الطاقة الدولية في عام 2013 والأكاديمية الروسية للعلوم (ميتروفا Mitrova 2013) أن هذا التجزئة في سوق الغاز الطبيعي سيستمر لعقود، وتجدر الإشارة هنا إلى أن الروس الذين يمتلكون احتياطيات جد كبيرة من الغاز الطبيعي يواصلون الإصرار علناً على الأقل على عقود طويلة الأجل بأسعار مرتبطة بسعر النفط عند التفاوض على عقود جديدة.

يتم استخدام كل من النفط والغاز الطبيعي لطاقتهما، لكن عدم مرونة إمدادات الغاز الطبيعي يمكن رؤيتها في سوق الولايات المتحدة غير الخاضعة للتنظيم، ونظراً لوجود قدر كبير من الغاز في الوقت الحالي، فقد اختلفت تكلفة الطاقة لكلا النوعين من الوقود وكما هو موضح في الشكل 8-2.



الشكل 8-2 : يميل النفط إلى أن يكون أكثر تكلفة من الغاز بسبب سهولة استخدامه في المناولة والتخزين، إن الارتفاع السريع في أسعار النفط واضح بعد عام 2005

إن حقيقة أنه من السهل جداً تحويل محرك الاحتراق الداخلي من المشتقات النفطية إلى الغاز الطبيعي كما تمت مناقشته في الفصل السادس، يجعل من مثل هذه التحويلات حتمية اقتصادية عند وجود من مثل هذه التفاوتات في الأسعار، وفيما إذا كانت الميزة ستستمر فهي مسألة أخرى، لكن مع ذلك فإن العبث بالتكنولوجيا جنباً إلى جنب مع الكميات الكبيرة من الغاز المتاحة في جميع أنحاء العالم يشير إلى استمرار استبدال النفط بالغاز الطبيعي.

الفصل التاسع

«التخبـــط»

إذا بدا أن معظم الفصول السابقة تفتقر إلى رؤية واضحة للمستقبل، فإنك كنت قد قرأتها بشكل صحيح، إن الوضع العالمي الحالي محفوف بالريبة والتوتر، وهناك أسئلة رئيسية مفتوحة حول توافر النفط . إن المشاكل المتعلقة بالاستدامة ولا سيما ظاهرة الاحتباس الحراري تصبح أكثر وضوحاً كل يوم، وأن كل من الأوضاع العالمية والسياسية للعديد من البلدان المحددة تتجه نحو عدم الاستقرار وأن كل ما سبق هو أمر مترابط، ولتسليط الضوء على أوجه عدم اليقين والارتباك التي يتعلق بخاصة في صناعة النفط :

1 - إن العالم محدود وهناك القليل من النفط الرخيص والسهل الذي لا يزال يتعين العثور عليه، ويتركز الإنتاج المتبقي من النفط منخفض التكلفة في منطقة الخليج بالشرق الأوسط، لكن هناك الكثير من النفط حتى الآن في باطن الأرض، وأن الكثير منه لم يتم احتسابه عند ذروة النفط لأنه خارج الحدود الاقتصادية لذلك التحليل . إن الأسئلة هي ما إذا كان النفط الذي لا يزال يتعين إنتاجه سيكون رخيصاً بدرجة كافية وما إذا كان يمكن إنتاجه بالمعدلات اللازمة لتوفير طاقة كافية للاقتصاد العالمي.

2 - إن كمية الغاز الطبيعي المتوافرة مادياً تكون على الأقل كبيرة في محتوى الطاقة من مثل النفط، ونظراً لوجود فرص استكشاف إضافية للغاز الطبيعي فقد تكون الكميات أكبر من تقديرات الاحتياطي الحالية . لكن الاستثمارات الرأسمالية الأولية المطلوبة تتعارض مع

البيئات الاقتصادية والسياسية سريعة التغير، التي تميز المجتمعات البشرية في عالم اليوم.

تم تطبيق ذروة هوبرت الأصلية فحسب على النفط التقليدي المتواجد على اليابسة في الولايات المتحدة الأمريكية المتجاورة مع بعضها البعض، وقد توقع هوبرت الحد الأقصى للإنتاج الأمريكي من النفط لعام 1970، وتم توقع ذروة إنتاج النفط العالمي في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين . لقد كان كلا التوقعين صحيحين بشكل أساس، إذ كان عقد السبعينات والعقد الأول من القرن الحادي والعشرين عقوداً من ارتفاع أسعار النفط وما ترتب على ذلك من تباطؤ اقتصادي، ولكن تحليل ذروة نفط هوبرت كان مخصصاً فحسب لتراكمات النفط التقليدية، وهناك الكثير من عدم اليقين بشأن كمية النفط الإضافية التي قد تكون متاحة، وهناك شيء واحد مؤكد حول هذا النفط الإضافي وهو سيكون أكثر تكلفة، ومن الناحية النقدية والطاقة ستكلف الإمدادات غير التقليدية أكثر مما اعتدنا على دفعه.

اخترع الاقتصادي جاي فورستر Jay Forrester لعبة تسمى «لعبة توزيع البيرة»[1] التي توضح كيفية تطور التذبذبات في النظام الاقتصادي، إن الإطار الأساسي هو أن تجار التجزئة للبيرة يحصلون على طلبات من الزبائن؛ ويقوم تجار التجزئة بفحص مخزونهم وتقديم الطلبات مع تجار الجملة؛ يفحص تجار الجملة مخزونهم ويضعون الطلبات مع الموزعين؛ والموزعين يفعلون الشيء نفسه مع مصانع البيرة . إن كل لاعب لديه تكاليف لكل من الاحتفاظ بالمخزون غير المباع ونفاد المخزون؛ والتكاليف غير المتكافئة (تكلفة النفاد لكل علبة بيرة أكثر من وجود مخزون فائض)، وتتميز اللعبة أيضاً بتأخيرات زمنية بين تقديم الطلب واستلام البيرة المطلوبة. أخيراً فإن الاتصالات الوحيدة بين اللاعبين هي الطلبات الفعلية الموضوعة، وعلى مدار مرات عدة من لعب هذه اللعبة ، تُظهر النتائج أن اللاعبين يبالغون دائماً في رد فعلهم تجاه اضطراب في طلبات الزبائن الأصلية، مما يؤدي إلى تأرجح بين زيادة العرض ونقصه على

(1) إن وصف لعبة توزيع البيرة مأخوذ من بينهوكر Beinhocker (2006 ، ص 168 - 171).

المستويات في النظام، وكذلك فإن هناك البعض من أوجه التشابه بين صناعة النفط، إذ تعني دورات الاستثمار الرأسمالي الطويلة اللازمة لمشاريع إنتاج النفط والغاز أنه بالإضافة إلى جميع العوامل الأخرى التي ينطوي عليها توقع مستقبل الصناعة فإنه يجب إضافة عدد من تأثيرات التذبذبات.

إن تجار السلع لديهم قول مأثور وهو «علاج ارتفاع الأسعار هو ارتفاع الأسعار». كانت فترة 1973-1985 فترة ارتفاع أسعار النفط، ولكن بحلول عام 1983 كان الإنتاج الجديد من نورث سلوب North Slope في ألاسكا وبحر الشمال والمكسيك ومشروعات أخرى من خارج أوبك يضع المزيد والمزيد من النفط في السوق، ولسنوات عدة كانت المملكة العربية السعودية قد خفضت من حجم إنتاجها النفطي وذلك للحفاظ على ارتفاع الأسعار، ولكن في نهاية المطاف وتحديداً في عام 1985 استسلم السعوديون وخفضوا السعر، وبعد فوات الأوان فإنه كان ينبغي توقع هذه الزيادة في الإنتاج وما سيتبعه من ضغط هبوطي على الأسعار. لكنها لم تكن على الأقل وبشكل عام ضمن صناعة النفط، لقد أدى عقد ارتفاع الأسعار إلى تكييف مواقف معظم الأفراد من الأسعار المرتفعة مع الزيادات في الأفق فحسب، كانت الشركة التي عملنا بها تتوقع أن يرتفع سعر برميل النفط 35 دولار في أوائل الثمانينيات إلى 70 دولار أو 80 دولار للبرميل بحلول منتصف التسعينيات، وبمجرد توقيع العقود الأولية فإنه سيتم المضي قدماً في العديد من المشاريع حتى في مواجهة انخفاض الأسعار، وأن دورة الازدهار والكساد هذه هي ما تتوقعه لعبة البيرة.

يتشابه انخفاض أسعار النفط منذ عام 2014 مع انهيار أسعار النفط في الثمانينيات، وحالياً يوجد فائض في المعروض من النفط في الأسواق، وأن شركات النفط تكافح للحفاظ على توقعات الأرباح التي نشأت في العقد السابق للانخفاض، وهذا يعني أنه تم التخلي عن العديد من المشاريع أو تأجيلها، وهو ما من المحتمل أن يؤدي إلى نقص النفط المتاح، ومن ثم ارتفاع الأسعار في وقت ما في المستقبل. ينظر «المتفائلون» في مجال النفط إلى كل هذا على أنه تذبذبات يمكن التنبؤ بها مماثلة للعبة البيرة، ويقولون إن الاقتصاد

العالمي سيتكيف، لكن حقيقة أن المورد يجب أن يكون محدوداً، إلى جانب حقيقة أن جميع مصادر النفط الجديدة لديها انخفاض كبير في عائد الطاقة على الاستثمارات، مما يشير إلى أن أيام النفط الرخيص ستصبح قريباً من الماضي، يعتقد «المتشائمون» في قطاع النفط أن ارتفاع الأسعار سيكون العامل المؤثر في التغيير الاقتصادي العالمي العميق.

عند تقييم صناعة النفط للعقد القادم فليس تمويل مشاريع معينة أو حتى برامج محددة فحسب هي التي تحدد كيفية تطور الاقتصاد؛ فهناك عدد من القضايا غير المالية، ولسبب واحد إذا كان النفط يعتبر مجرد واحد من العديد من المعادن التي يتم استخراجها من الأرض، فإن انخفاض عائد الطاقة على الاستثمار يماثل الخامات الأقل تركيزاً . على سبيل المثال إن خام النحاس الذي يتم استخراجه اليوم له درجة نحو 0.2% . أي أنه لكل طن من الصخور المستخرجة فإن هناك نحو رطل واحد من النحاس و 1999 رطل من الصخور التي ليس لها أي قيمة اقتصادية. إن عملية التعدين تستخدم الطاقة أولاً وذلك لاستخراج الصخور ثم القيام بالفصل، ويتم تشغيل الكثير من الطاقة المستخدمة بواسطة محركات الديزل - شاحنات لنقل الخام، والكسارات لسحق الخام للسماح بفصله وما إلى ذلك، ومن ثم فإنه مع انخفاض عائد الطاقة على الاستثمار للنفط، فإن منجم النحاس يتعرض لنوعين من التكاليف المتزايدة: الأول هو الزيادة في التكاليف بسبب انخفاض درجة الخام، والثاني هو الزيادة في التكاليف بسبب ندرة النفط (Bardi 2014).

إن النحاس هو معدن واحد فحسب وأن كل شيء على وجه الأرض يخضع للمشكلة المزدوجة نفسها، ربما تكون أهم موارد الأرض هي الأراضي الزراعية والمياه العذبة. يقول بيركنز Perkins في عام 2012 إن معظم المياه العذبة تستخدم في الزراعة، وبدون هذه المياه تنخفض الإنتاجية الزراعية أو تكاد تنعدم، ويمكن ضخ المياه من منطقة إلى أخرى . في كاليفورنيا يتم استخدام 2-3% من إجمالي الكهرباء فحسب في أحد مشاريع المياه بالولاية، وأن 90% من الكهرباء المستخدمة في مزارع كاليفورنيا هي لضخ المياه . (.Cohen et al

2004) تفكر الصين في المزيد من مشاريع نقل المياه الضخمة، مما يثير الفزع الشديد لباكستان والهند وميانمار وتايلاند وكمبوديا وفيتنام التي ستحرم من المياه التي يعتمدون عليها الآن، وأن كل هذه المشاريع تتطلب الطاقة، وإذا كانت الطاقة نفسها مورداً محدوداً ومن ثم فإنها غير متوافرة ، فقد تكون الموارد من مثل المياه أو التربة الخصبة هي التي تقيد الاقتصاد.

يشير الاقتصاديون إلى عوامل خارج الإطار الطبيعي للتحليل الاقتصادي على أنها «عوامل خارجية»، وفي حالة النفط والغاز الطبيعي فإن انبعاث غاز ثاني أوكسيد الكربون يعتبر من العوامل الخارجية، ويعد استخدام الغلاف الجوي كمكان مجاني للتخلص من غاز ثاني أوكسيد الكربون أمراً خارجياً، ولا يتم دفع تكاليف الاحتباس الحراري من قبل الباعثين لهذا الغاز . إن حقيقة أن تكاليف ارتفاع درجة الحرارة العالمية بسبب الاحترار الناجم عن غاز ثاني أوكسيد الكربون لم يتم تضمينها في التحليل النموذجي لمشاريع الهيدروكربون وهي لا تعني عدم وجود تكاليف اقتصادية، وبدلاً من ذلك فإن هذا يعني وببساطة أنه لم يتم تضمين التكاليف، لقد حاولت مجموعات مختلفة وضع رقم لقيمة كل طن من غاز ثاني أوكسيد الكربون المنبعث في الغلاف الجوي، فإذا تم دمج هذه التكلفة في التحليلات المالية لشركات النفط والغاز الطبيعي، فإنها ستغير اقتصاديات النماذج المالية المستخدمة، وداخلياً تقوم الشركات الكبرى بهذا كتمرين(Schapiro and Scorse 2014) ، ولكن حتى الآن لم يتم تطبيق هذه التكلفة الخارجية على التكاليف الحقيقية للمشروع.

لا يمكن تجاهل المنافسة من مصادر الطاقة الأخرى أيضاً، فالخلايا الكهروضوئية (PV) لأسطح المنازل وتوربينات الرياح والمصفوفات الحرارية الشمسية والمحطات النووية والطاقة الكهرومائية كلها خيارات لتحل محل الوقود الأحفوري، لكل من هؤلاء دعاة صريحون يشيرون إلى أن تكاليف البعض من مصادر الطاقة الأخرى على الأقل تنخفض بسرعة، مما يشكل تحدياً اقتصادياً مباشراً لطاقة الوقود الأحفوري . من المحتمل أن تكون فوائد التكلفة أكبر مع فرض رسوم على العوامل الخارجية، وهذا هو السبب في أن العديد من

الاقتصاديين البيئيين يقترحون شكلاً من أشكال ضريبة الكربون أو الرسوم، ومن خلال فرض «التكلفة الحقيقية» لطاقة الوقود الأحفوري سيصبح التحويل إلى طاقة لا ينبعث منها غاز ثاني أوكسيد الكربون أكثر جاذبية، وتجدر الإشارة إلى أن مصادر الطاقة الحالية غير ثاني أوكسيد الكربون تستخدم طاقة الوقود الأحفوري في تصنيعها، مما يجعل من الصعب تقييم الفوائد الاقتصادية الحقيقية لهذه التغييرات.

من الممكن تصور عدد سكان العالم في المستقبل، مما يمكن للمرء بعد ذلك تحديد الناتج المحلي الإجمالي للفرد الذي يأمل المرء في تحقيقه ، وهو ما يؤدي إلى سيطرة نمو الناتج المحلي الإجمالي للهند والصين على معظم توقعات الطاقة . من الممكن تعديل هذه التوقعات من خلال وضع افتراضات مختلفة حول كيفية تغير الناتج المحلي الإجمالي / وحدة الطاقة (تقريباً «الكفاءة») ، خاصة إذا تجاهل المرء مفارقة جيفون. Jevon's paradox

وفي هذا المزيج المعقد فإنه يتوجب علينا أن نضيف الآن عنصرين آخرين هما: التمويل والسياسة، فالنماذج المالية التي تستخدمها صناعة النفط مبنية على الدولار، إن استخدام الدولار هو حادث تاريخي يرجع في المقام الأول إلى الهيمنة الأصلية للولايات المتحدة الأمريكية على صناعة النفط . ولكن ما هو المال حقاً؟ [1] مهما كانت الإجابة ، فإن أحد جوانب المال هو القدرة على تبادل القيمة عبر كل من المكان والزمان. لا يعتمد المستقبل المالي لقرارات صناعة النفط فقط على ما إذا كان النموذج المالي صحيحًا فيما يتعلق بأموال اليوم ، ولكن ما إذا كان صحيحًا فيما يتعلق بالمال في المستقبل.

إن هذه الإسقاطات المتفاعلة هي مجال تحليل الأنظمة ونظرية الأنظمة، ولقد قام باحثون من مثل راندرس Randers في عام 2012 ببناء نماذج معقدة للغاية بهذه الطريقة، لكن نظرية الأنظمة حتى مع حلقات ردود الفعل الخاصة بها فإنها غالباً لا تلتقط تماماً حقيقة أن الترابطات بين السلاسل

---

(1) للاطلاع على مناقشة مثيرة للاهتمام حول مسألة «ما هو المال» ، وهو أمر أساسي لكثير من علم الاقتصاد ، انظر في: Mainelli and Harris (2011), pp. 222225.

الزمنية المختلفة هي معقدة للغاية، وبالإمكان استخدام أدوات التحليل متعدد المتغيرات لاستخلاص المعنى من الأنظمة المعقدة، وأن هذه التحليلات تشير إلى أن أحد التحديات في التنبؤ بالاقتصاد هو طبيعته متعددة الأبعاد. إن الوقود الأحفوري والمياه العذبة والتربة الخصبة ومعادن الأرض النادرة والمعادن الأساسية والفوسفور والسكان ومسببات الأمراض المختلفة والأنواع المختلفة والقائمة تطول كل منها محوري في التحليل . يلاحظ تفيربيرج Tverberg في عام 2013 أن قانون Liebig's of the Minimum الذي ينص على أنه إذا كان هناك أي مدخل حاسم يُفتقر إليه، فإنه سيحد من النظام على الرغم من الوفرة في جميع المدخلات الأخرى، وقد يكون هذا هو مبدأ التحكم في النفط . يقترح تفيربيرج أن الطاقة وبخاصة النفط هي المدخلات المحددة؛ قد يكون أيضاً مبدأ التحكم في العديد من حلقات ردود الافعال الأخرى لتحليل الأنظمة، لكن تعقيد النظام يجعل من الصعب إثبات ذلك وقد تكون المدخلات المقيدة شيئاً آخر.

على الرغم من الرؤى الأولية لداروين Darwin فإن الآليات الدقيقة للتطور لا تزال موضوعاً للبحث، وتجدر الإشارة هنا بخاصة إلى تطوير مفهوم «التوازن المتقطع» (لكل من إلدردج Eldredge وجولد Gould في عام 1972) الذي يقترح أن نوعاً ما قد يتطور ببطء شديد على مدى فترة طويلة من الزمن الجيولوجي، ومن ثم ستتطور مجموعة فرعية بسرعة كبيرة خلال فترة زمنية قصيرة نسبياً. لقد حان الوقت لتشكيل نوع جديد، ولقد لوحظت اضطرابات التوازن المتقطعة هذه في عدد من المجالات الأخرى أيضاً، ويمكن نمذجتها بواسطة الكمبيوتر (انظر في Beinhocker في عام 2006 وذلك لمناقشات الانهيارات وأمثلة سوق الأوراق المالية).

يتغير النظام الاقتصادي العالمي بسرعة كبيرة في الوقت الحاضر، وعلى النحو المبين في الفصل السادس فإننا في فترة تغير سريع بعد فترة التطور البطيء منذ عام 1945 إلى 2005. إن ذروة النفط ليست وحدها هي التي تقود هذا التغيير على الرغم من أن أسعار النفط المرتفعة في العقد الماضي هي المساهم، وبالأحرى

فإن نهج «العمل كالمعتاد» الاقتصادي والسياسي يلبي عائدات متناقصة على كل الجبهات تقريباً . أصبح الهواء في المدن الصينية الرئيسة غير قابل للتنفس، كما أصبح عدد من الأنهار الرئيسية في العالم الآن محاطاً بالسدود لدرجة أنها لم تعد توفر المزيد من المياه لدلتاها ولا مزيداً من الرواسب إلى أراضيها الرطبة الساحلية المنتجة (Pearce 2006)، ويستمر تدمير الغابات الاستوائية المطيرة لا سيما في البرازيل وإندونيسيا، ولأننا اعتدنا على الطاقة الرخيصة المتاحة منذ بداية الثورة الصناعية، فإن العلاجات المحددة المقترحة كثيراً ما تهدف إلى ضخ المزيد من الطاقة في النظام لإبقاء الإنتروبيا منخفضة.

في أثناء نشر هذا الكتاب للطباعة، فإن كل من المملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية تمتلك قيادات سياسية مستوحاة من الشعبوية معادية نسبياً لاتخاذ تدابير سياسية لمعالجة تغير المناخ . لكن السياسيين على الرغم من المحاولات الدورية لفعل ذلك فإنه لا يمكنهم إلغاء القوانين الطبيعية الأساسية، وبمجرد حرق الوقود الأحفوري فإنه لم يعد متاحاً كمصدر للطاقة على كوكب محدود، وبمجرد استخدامه سيكون هناك القليل في المستقبل وما يتبقى سيكون أكثر تكلفة في معظم الحالات.

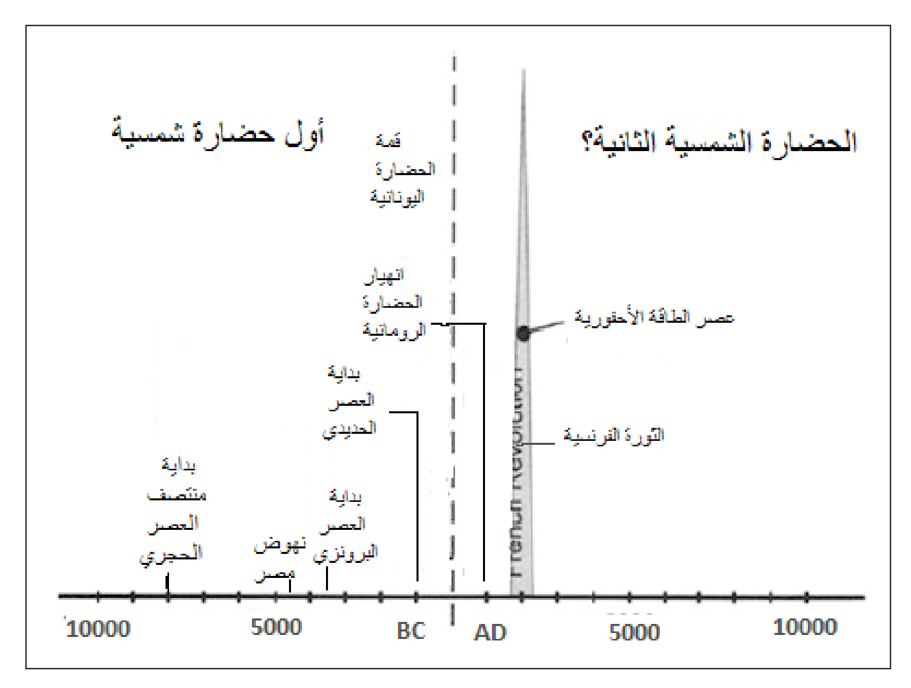
إن شيء ما يجب أن يتغير، يقترح جيشا Jischa في عام 2013 أن الأنواع البشرية قد شهدت أربعة من هذه التغييرات، كل منها يسمح للأنواع بالتحكم في موارد أكبر، ومن ثم الحصول على مستوى معيشة أفضل كما هو موضح في الجدول 9-1، إن التغيير من اقتصاد صناعي إلى اقتصاد خدمي هو التغيير الاقتصادي الجاري حالياً.

الجدول 9-1 : التقنيات والتنظيم المجتمعي
(بعد Jischa 2013)

الدخل الفردي	المورد	المنظمة	التقنية
100	الطبيعة	القبائل	الصيد
1000	الأرض الزراعية	الاقطاعي	الزراعة
10,000	رأس المال	الوطني	الصناعة
100,000	المعرفة	الدولي	الخدمة

إن المشكلة في وجهة النظر هذه لاقتصاد المعرفة هي عدم اليقين بشأن ما إذا كانت المعرفة في الواقع مادة خام، ويقوم كل من الصيد والزراعة على الطاقة الشمسية المباشرة، وأن المجتمع الصناعي قائم على الوقود الأحفوري . ولكن ما هو أساس الطاقة للخدمة أو مجتمع المعلومات؟ وما هي جودتها المتناقصة؟ لاحظ جيشا Jischa أيضاً أنه على المدى الجد طويل أن استنفاد مصادر الطاقة المخزنة يعني أنه لا يوجد خيار (بافتراض بقاء الأنواع) سوى العودة إلى نظام الطاقة الشمسية بشكل أساسي كما هو موضح في الشكل 9-2.

في سياق مماثل فقد اقترح الخبير الإداري بيتر دراكر Peter Drucker في عام 1992 أن مجتمع المعرفة سوف يتطلب إعادة تنظيم الهياكل الاجتماعية والسياسية، فضلاً عن ذلك فإن المعرفة وحدها ليست كافية، ولعقود عدة أشارت أفضل الأدلة التكنوقراطية إلى وجوب خفض انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون . تقترح نيومي أوريسكس Naomi Oreskes في عام 2014 أن على الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ أن تلغي مجموعة العمل الأولى، وهي المجموعة التي تنظر في علم تغير المناخ، وحجتها في ذلك هي أنه من خلال عدم القيام بإلغاء هذه المجموعة فإنه يمكن لأولئك الذين يعارضون التعامل مع الإجماع الساحق الاستمرار في الادعاء بأن الأمر لا يزال مفتوحاً للنقاش، وغالباً ما يتخذ الاقتصاديون نهجاً مختلفاً وذلك بحجة أنه حتى لو كانت توقعات تغير المناخ غير صحيحة تماماً، فإن نسبة التكلفة إلى الفائدة للحد من ثاني أوكسيد الكربون لا تزال تمثل بوليصة تأمين سليمة بـ قسط معقول، إن الشركات والأفراد يشترون التأمين بشكل روتيني، ولكن حتى الآن المجتمع ككل غير مستعد للمضي قدماً في أي نوع من التأمين ضد تغير المناخ، وكلا النهجين يشير إلى ضرورة العمل السياسي وليس الفني.



الشكل 9-2 : استخدام البشرية للطاقة

(from Jischa 2013)

كما أشرنا سابقاً فإن إحدى المشاكل هي اختلاف الآفاق الزمنية بين الاستثمارات المالية التي يتم إجراؤها والتغييرات الهيكلية التي يجب القيام بها، وأن هذا الاختلاف الزمني له أسباب عدة، ولكنه من الواضح أيضاً أن الأفق المالي أصبح أقصر. لم تعد الشركات تصدر سندات لمدة 99 عاماً، كما أشار الخبير الاقتصادي بول كروغمان Paul Krugman في عام 2014، فإن الاستثمارات طويلة الأجل المطلوبة للتغييرات الأساسية قد تتطلب قرارات خارج إطار رأسمالية السوق.

من دون اتجاه واضح وبالنظر إلى قيود رأس المال فإنه سيقوم البعض من شركات النفط باستثمارات مناسبة أكثر من غيرها، وفي العقد الماضي حاولت شركة بريتيش بيتروليوم BP أن تصبح شريكاً لروسيا في توفير الهيدروكربونات للاقتصاد العالمي ولكنها فشلت في ذلك، وحتى وقت قريب بدت شركة شل Shell وكأنها تحرف ميزانياتها الرأسمالية نحو مشاريع القطب الشمالي . إن جميع الشركات الجد كبيرة شاركت في منافسات النفط والغاز الضيقين، ولكن

لا يوجد إجماع كبير في الشركة حول ما سيكون مربحاً، وفي الوقت نفسه فإن المنافسات الضيقة هي المورد الهيدروكربوني الحدودي مع أقل متطلبات رأس المال، ومن ثم فهي أكبر قدرة على نقل عدم اليقين إلى المخاطر الخاضعة للرقابة والمكاسب المالية النهائية . قد لا تكون كميات الهيدروكربونات المتاحة في نهاية المطاف من المنافسات الضيقة كبيرة من مثل تلك المتوافرة في البيئات الجغرافية القاسية أو في المناطق ذات المخاطر السياسية العالية، ولكن كما لوحظ في الفصل الثاني فإن هدف الشركة أولاً هو كسب المال وثانياً توفير النفط أو الغاز الطبيعي.

يوضح الإطار المالي أعلاه أنواع حالات عدم اليقين التي تواجهها شركات النفط في بيئة اليوم. لكننا نعتقد أن عدم اليقين السياسي سيكون أكثر أهمية في تحديد ما سيحدث لصناعة النفط خلال العقدين المقبلين.

حتى أن اتفاقيات باريس في ديسمبر من عام 2015 ، لم تتم فيها معالجة آثار الاحتباس الحراري وتغير المناخ على المستوى الدولي، وقد يجادل البعض بأن اتفاق باريس أضعف من أن يغير هذا الوضع، لكنه من الواضح أيضاً أن معظم الأفراد أصبحوا على دراية بتأثيرات تغير المناخ، ويدرك الأفراد بأن التغييرات مكلفة . إن أحد الردود هو أن تقوم الحكومة بإصلاح المشكلة، وكلما أصبحت التغييرات أكثر وضوحاً فإن هذه المطالب ستصبح أكثر إلحاحاً، وفي عام 2011 كنا قد تعرضنا للسخرية في المنظمة البيئية غير الحكومية التي كنا نعمل فيها في ذلك الوقت لتوقعها أنه بحلول نهاية هذا العقد سيكون هناك طلب مرتفع في بلدان منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية على السياسيين «لإصلاح» المناخ، وقد تأتي هذه الصرخة العالية بنتائج عكسية من خلال تمكين الديماغوجيين demagogues[*] المتضخمين، ولكن على الأرجح ستدفع النظام السياسي إلى زيادة التدخل فيما يتعلق باستخدام الوقود الأحفوري.

(*) الديماغوجي(زعيم الدهماء) أو المثير للرعاع في الاستخدام المعاصر هو القائد الذي يكتسب شعبية من خلال استغلال العواطف والتحيز والكراهية والجهل لإثارة عامة الناس ضد النخب، وإثارة عواطف الجمهور وإغلاق المداولات المنطقية.

تحتاج شركات النفط بالإضافة إلى الأطر القانونية والمالية التي تعمل ضمنها إلى «ترخيص اجتماعي» لمزاولة أعمالها، إن التحقيق الحالي في شركة إكسون موبيل ExxonMobil بتهمة الاحتيال فيما يتعلق بقمع دراسات الاحترار العالمي هو مؤشر صغير على إعادة النظر في هذا الترخيص الاجتماعي . حقيقة أن شركات النفط والغاز الكبرى تُدرج شكلاً من أشكال شحنة الكربون في اقتصادياتها الداخلية تشير إلى أنها تدرك هذا التهديد على الأقل إلى حد ما، ولكن كيف سيتطور هذا ومدى ما يمنحه النظام السياسي من المجال لهذه الشركات ، أصبح قضية أكثر وضوحاً.

إذا أعاد المجتمع ومن خلال عملياته السياسية توجيه جهود شركات النفط إلى مجالات جديدة فسوف تتبعه الشركات، ولكن حتى يتم إعادة التوجيه من قبل النظام السياسي فإن شركات النفط ستستمر في فعل ما تعرف القيام به، وهو تحقيق أكبر قدر ممكن من الأرباح من خلال توفير النفط والغاز للاقتصاد.

المراجع

1- Adelman, M.A. 1993. The Economics of Petroleum Supply: Papers by M. A. Adelman, 1962– 993, 576 pp. Cambridge, MA: MIT Press.

2- Ahlbrandt, T.S. 2012. The Shift from the Static Hydrocarbon Model (Hubbert) to a Dynamic Model: Re-Evaluating the Hubbert Curve and the Global Petroleum Revolution: A New Era*, vol. 70116. Tulsa, Okla: Search and Discovery (AAPG), (2012), no. 13 February 2012. http://

www.searchanddiscovery.com/documents/2012/70116ahlbrandt/ndx_ahlbrandt.pdf. Accessed October 26, 2014. 3.2065410

3-Aleklett, K. 2012. Peeking at Peak Oil, 325 pp. New York: Springer.

4-Alfaro, J.C., C. Corcoran, K. Davies, F.G. Pineda, G. Hampson, D. Hill, M. Howard, J. Kapoor, N. Moldoveanu, and E. Kragh. 2007. Reducing Exploration Risk. Oilfield Review 19(1): 26–43.

5-American Physical Society. 2014. Energy Units. http://www.aps.org/policy/reports/popa-reports/energy/units.cfm. Accessed September 12, 2014.

6- Andrews, S., and R. Udall. 2003. Oil Prophets: Looking at World Oil Studies Over Time. In 2nd International Workshop on Oil Depletion, 15 pp. Paris: Association for the Study of Peak Oil, May 2003.

7- Arkhipov, I., S. Bierman, and R. Chilcote. 2014. Russia says an Arctic well it drilled with Exxon Mobil has just struck oil—a lot of it. Toronto: Financial Post (quoting Bloomberg newreporting). http://business.financialpost.com/news/energy/russia-exxon-oil?__lsa=cdf1-481a. Accessed January 29, 2015.

8-Baer, Robert. 2003. The Fall of the House of Saud. The Atlantic (on-line edition). May 2003.

http://www.theatlantic.com/magazine/archive/2003/05/the-fall-of-the-house-of-saud/304215/. Accessed October 28, 2014.

9-Baker Hughes. 2014. Rig Count Overview & Summary Count. http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=79687&p=irol-rigcountsoverview. Accessed October 30, 2014.

10- Bardi, U. 2013. Cassandra's legacy: Peak shale oil? What peak? http://cassandralegacy.blogspot.it/2013/08/peak-shale-oil-what-peak.html. Accessed August 2, 2013.

11-Bardi, U. 2014. Extracted : How the quest for mineral wealth is plundering the planet, 247 pp. White River Junction, VT, USA: Chelsea Green Publishing.

12-BBC. 2014. South China Sea dispute. London. http://www.bbc.com/news. Accessed October 27,2014.

13-Beinhocker, E.D. 2006. The Origin of Wealth, 454 p. Boston, MA: Harvard Business School Press.

14-Bentley, R. 2002. Oil forecasts past and present. Energy Exploration and Exploitation 20(6): 481–492.

15-Bentley, R.W. 2016. Introduction to Peak Oil. Lecture Notes in Energy, 104 pp. Cham (ZG), Switzerland: Springer.

16-Bentley, R., R. Miller, S. Wheeler, and G. Boyle. 2009. [TR 7] Comparison of global oil supply forecasts, Review UKERC/WP/TPA/2009/022. Review of Evidence on Global Oil Depletion, 86 pp. London: UK Energy Research Centre. Berman, A. 2010. Shale Gas—Abundance or Mirage? Why The Marcellus Shale Will Disappoint Expectations. http://www.theoildrum.com/node/7075. Accessed June 20, 2014.

17- Berman, A. 2015. Years Not Decades: Proven Reserves and the Shale Revolution. Houston, Texas: Houston Geological Society. Meeting 2015-02-23. https://www.youtube.com/watch?v= 5Ae1fg44l7E. Accessed May 11, 2015.

18-Blundell, K. 2015. Black Holes—A very short introduction, 93 pp. Oxford: Oxford University Press.

BP. 2013. Statistical Review of World Energy 2013. http://www.bp.com/en/global/corporate/

energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html. Accessed October 21, 2014.

19- BP. 2014. Statistical Review of World Energy 2014. http://www.bp.com/en/global/corporate/

energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html. Accessed June 17, 2015.

20- BP. 2015. Statistical Review of World Energy 2015. https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/

energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report. pdf. Accessed June 22, 2016.

21- BP. 2016. Statistical Review of World Energy 2016. http://www.bp.com/en/global/corporate/

energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html. Accessed July 27, 2016.

22- BP Statisticals (Year); see BP; (year); Statistical Review of World Energy (year).

23- Brandt, A.R., T. Yeskoo, and K. Vafi. 2015. Net energy analysis of Bakken crude oil production using a well-level engineering-based model. Energy 93(part 2):2191–2198. Doi:10.1016/j.energy.2015.10.113.

24- Business Week. 2013. In China, the License Plates Can Cost More Than the Car. http://www.businessweek.com/articles/2013-04-25/in-china-the-license-plates-can-cost-more-than-the-car. Accessed October 27, 2014.

25- Campbell, C.J. 1997. The Coming Oil Crisis, 210 pp. Bretwood CM14 4RX (UK): Multi-Science Publishing Company.

26- Campbell, C.J. 2013. Campbell's atlas of oil and gas depletion, 411 pp. New York: Springer.

27- Campbell, C.J., and J. Laherrere. 1998. The End of Cheap Oil. Scientific American 278(3): 78–83.

28- Capra, F., and P.L. Luisi. 2014. The Systems View of Life, 452 pp. Cambridge (UK): Cambridge University Press.

29- Carmalt, S.W., and B. St. John. 1986. Giant Oil and Gas Fields. In Future Petroleum Provinces of the World, vol. 40, ed. Halbouty, Michael, T., 11–53. Tulsa, OK, USA: AAPG. AAPG Memoir.

30- Carrington, D. 2013. Carbon bubble will plunge the world into another financial crisis. Manchester/London (UK): The Guardian. 2013-04-19. http://www.theguardian.com/ environment/2013/apr/19/carbon-bubble-financial-crash-crisis. Accessed October 28, 2014.

31-Carroll, L. (alias for C. L. Dodgson). 1871. Through the Looking Glass. London: Macmillan.

32- Center for Energy Economics. 2006. How much does LNG cost. http://www.beg.utexas.edu/ energyecon/lng/LNG_introduction_09.php. Accessed October 30, 2014.

33-Chandra, V. 2014. Liquefied Natural Gas (LNG), Industry Association: http://www.natgas.info/ gas-information/what-is-natural-gas/lng. Accessed January 13, 2015.

34- Cleveland, C.J., R. Costanza, C.A.S. Hall, and R. Kaufmann. 1984. Energy and the U.S. Economy. A Biophysical Perspective. Science 225(4665): 890–897.

35- Cohen, R., B. Nelson, and G. Wolff. 2004. Energy Down the Drain, 78 pp. San Francisco and Oakland, CA: Natural Resources Defense Council.

36- Craig, J. 2014. How the Bakken Oil Boom Impacts U.S. Supply Chains. http://blog.chrobinson.com/oil-and-gas/bakken-oil-boom-impacts-u-s-supply-chains/. Accessed October 28, 2014.

37- Crooke, A. 2014a. Middle East Time Bomb: The Real Aim of ISIS Is to Replace the Saud Family as the New Emirs of Arabia. New York: Huffington Post. http://www.huffingtonpost.com/alastair-crooke/isis-aim-saudi-arabia_b_5748744.html. Accessed October 08, 2014.

38- Crooke, A. 2014b. You Can't Understand ISIS If You Don't Know the History of Wahhabism in Saudi Arabia. New York: Huffington Post. http://www.huffington-post.com/alastair-crooke/isiswahhabism-
saudi-arabia_b_5717157.html?utm_hp_ref=world. Accessed October 08, 2014.

39- Davenport, C. 2014. Emissions from IndiaWill Increase. Official Says. New York: New York Times.

http://www.nytimes.com/2014/09/25/world/asia/25climate.html?_r=1. Accessed September 26, 2014.

40- Deffeyes, K.S. 2001. Hubbert's Peak : The Impending World Oil Shortage, 190 pp. Princeton, NJ: Princeton University Press.

41- Deffeyes, K.S. 2005. Beyond Oil, 188 pp. New York: Hill and Wang (div. of Farrar, Straus and Giroux).

42- Demytrie, R. 2012. Development challenge of Kazakhstan's giant oilfield. London: BBC. http:// www.bbc.com/news/world-asia-20251682. Accessed October 30, 2014.

43- Drucker, P.F. 1992. The New Society of Organizations. Harvard Business Review 70(5): 95–104.

44- Durham, L.S. 2016. U.S. Shale Production Proves Resilient to Price Collapse. AAPG Explorer 37 (7): 16.

45- EIA. 2013. Few transportation fuels surpass the energy densities of gasoline and diesel. http://
www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=9991. Accessed October 26, 2014.

46- EIA. 2014a. China—Country Energy Analysis. Washington, D.C., USA: EIA, 37 pp. http://www. eia.gov/countries/analysisbriefs
/China/china.pdf. Accessed October 27, 2014.

46- EIA. 2014b. India—Country Energy Analysis. Washington, D.C., USA: EIA. 26 pp. http://www. eia.gov/countries/analysisbriefs
/India/india.pdf. Accessed October 27, 2014.

47- EIA. 2016a. International Energy Outlook 2016.
http://www.eia.gov/forecasts/ieo/. Accessed Julym15, 2016.

48- EIA. 2016b. International Energy Statistics (a) Energy intensity—GDP/Energy—1980–2011 (b) CO2 emissions 1980–2011 (c) Population 1980–2011 (d) Total Primary Energy consumption 1980–2011 (e) Total Primary Energy production 1980–2011. http://www.eia. gov/cfapps
/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=3&pid=26&aid=24. Accessed July 06, 2016.

49- Eldredge, N., and S.J. Gould. 1972. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. In Models in Paleobiology, 82–115. San Francisco, CA: Freeman Cooper.

50- Engdahl, F.W. 2014. The Secret Stupid Saudi-US Deal on Syria. Oil Gas Pipeline War. Montreal, Quebec, Canada: Center for Research on Globalization. http:// www.globalresearch.ca/thesecret- stupid-saudi
-us-deal-on-syria/5410130. Accessed October 28, 2014.

51- ExxonMobile. 2012. Exxon Outlook to 2040, 54 pp. Irving, Texas: ExxonMobile Corp.

52- FASB. 2010. Extractive Activities—Oil and Gas (Topic 932) : Oil and Gas Reserve Estimation and Disclosures ASU 2010-XX Extractive Activities—Oil and Gas Topic 932 Oil and Gas Reserves: Norwalk, Conn., USA: Financial Accounting Standards Board.

53- Forbes, B., and H. Wilczynski. 2010. “Flexible factory” steadies unconventional gas work. Oil & Gas Journal 2010-03–15. http://www.ogj.com/articles/print/volume-108/issue-10/General-

Interest/-flexible-factory.html. Accessed October 29, 2014.

54- Foss, M.M. 2007. Introduction to LNG. Austin, Texas: Bureau of Economic Geology.40 pp.

http://www.beg.utexas.edu/energyecon/lng/documents/CEE_INTRODUCTION_TO_ LNG_FINAL.pdf. Accessed January 13, 2015.

55- Frantz, J.H., Jr. 2014. Tight shale plays : Pennsylvania. SPE Distinguished Lecture. Geneva, Switzerland. 2014-09-29.

56- Friedemann, A.J. 2016. When Trucks Stop Running: Energy and the Future of Transportation, Springer briefs in Energy, 130 pp. London: Springer.

57- Gallucci, V.F. 1973. On the principles of thermodynamics in ecology. In Annual Review of Ecology and Systematics, vol. 4, 329–357. Palo Alto, Annual Reviews.

58- Garcia, D. 2009. New World Model—EROEI issues. http://europe.theoildrum.com/node/5688. Accessed October 31, 2014.

59- Georgescu-Roegen, N. 1971. The Entropy Law and the Economic Process, 457 pp. Cambridge, MA: Harvard University Press.

60- Geuss, M. 2014. Porsche, Mercedes building electric cars to challenge Tesla: Ars Technica: Cambridge, MA. http://arstechnica.com/cars/2014/10/porsche-mercedes-building-electric-carsto- challenge-tesla/. Accessed October 27 2014.

61- Gleick, J. 1988. “Slippery Water”: Mystery Seems Finally Solved. New York: New York Times.

http://arstechnica.com/cars/2014/10/porsche-mercedes-building-electric-cars-to-challenge-tesla/. Accessed October 27, 2014.

62- Hall, C.A.S. 1972. Migration and metabolism in a temperate stream ecosystem. Ecology 53: 585–604.

63- Hall, C.A.S., and K.A. Klitgaard. 2012. Energy and the Wealth of Nations : Understanding the Biophysical Economy, 402 pp. New York: Springer.

64- Hall, C., M. Lavine, and J. Sloane. 1979. Efficiency of energy delivery systems: I. An economic and energy analysis. Environmental Management 3(6): 493–504. Doi:10.1007/BF01866318.

65- Hall, C., E. Kaufman, S. Walker, and D. Yen. 1979. Efficiency of energy delivery systems: II. Estimating energy costs of capital equipment. Environmental Management 3(6): 505–510. Doi:10.1007/BF01866319.

66- Hallock Jr., J.L., W. Wu, C.A.S. Hall, and M. Jefferson. 2014. Forecasting the limits to the availability and diversity of global conventional oil supply. Energy 64: 130–153. doi:10.1016/j.
energy.2013.10.075.

67- Hanner, I. 2014. Gazprom and CNPC Sign Technical Agreement on Power of Siberia. Exploration World.
http://explorationworld.com/pipelines/153/Gazprom-and-CNPC-Sign-Technical-Agreementon- Power-of-Siberia. Accessed October 29, 2014.

68- Hardin, G. 1968. The Tragedy of the Commons. Science 162(3859): 1243–1248. Doi:10.1126/ science.162.3859.1243.

69- Hargreaves, S. 2012. World's 10 most expensive energy projects—#1—Kashagan—$116 billion.CNN.
http://money.cnn.com/gallery/news/economy/2012/08/27/expensive-energy-projects/10.html. Accessed October 30, 2014.

70- Haun, J.D. (ed). 1975. Methods of Estimating the Volume of Undiscovered Oil and Gas Resources, vol. 1, 195 pp. Tulsa, OK, USA: AAPG. Studies in Geology.

71- Hayes, C. 2014. The New Abolitionism. The Nation. http://www.thenation.com/article/179461/new-abolitionism?page=full. Accessed October 28, 2014.

72- Helman, C. 2014. The World's Biggest Oil Companies—In Photos. Forbes. http://www.forbes. com/pictures/mef45efkii/the-worlds-biggest-oil-companies-29/. Accessed December 11, 2014.

73- Henriksen, B.E. 2004. Basic petroleum economics. http://www.ccop.or.th/ppm/document/CHWS2/CHWS2DOC10_henriksen.pdf. Accessed October 31, 2014.

74- Hirsch, R. 2012. The Impending World Oil Shortage: Learning from the Past. ASPO Annual Meeting, Vienna, Austria. 30 May to 1 June, 2012.
http://www.aspo2012.at/wp-content/ uploads/2012/06/Hirsch_aspo
2012.pdf. Accessed October 28, 2014.

75- Hirsch, R.L., R. Bezdek, and R. Wendling. 2005. Peaking of World Oil Production: Impacts, Mitigation, & Risk Management, 91. Washington, D.C., USA: US Department of Energy.

76- Horn, M.K. 2011. Giant Fields GIS Project. http://www.datapages.
com/ AssociatedWebsites/ GISOpenFiles/HornGiantFields.aspx. Accessed October 23, 2014.

77-Hubbert, M.K. 1938. Determining The Most Probable. http://www.technocracy.org/technicalalliancetn/
17-m-king-hubbert/205-hubbert. Accessed March 26, 2013.

78- Hubbert, M.K. 1956. Nuclear Energy and the Fossil Fuels. Houston, Texas: Shell DevelopmentCompany. Publication No. 95. 40 pp. http://www.hubbertpeak.com/hubbert/1956/1956.pdf. Accessed July 16, 2012.

79- Hubbert, M.K. 1962. Energy Resources. Washington, D.C., USA: National Academy of Sciences, National Research Council Publication 1000-D, 141 pp.

80- Hubbert, M.K. 1967. Degree of Advancement of Petroleum Exploration in United States. Bull AAPG 51(11): 2207–2227.

81- Hubbert, M.K. 1969. Energy Resources. In Resources and Man. W. H. Freeman and Co.

82- Hubbert, M.K. 1974. U.S. Energy Resources: A Review as of 1972. U.S. Senate Committee 93–40(92–75). Washington, D.C., USA, U.S. Senate.

83- Hubbert, M.K. 1982. Techniques of Prediction as Applied to the Production of Oil and Gas. In Oil and Gas Supply Modelling, ed. S.I. Gass, 16–141. Washington, D.C., USA: National Bureau of Standards (USA). Special Publication.

84- Hughes, J.D. 2014. Drilling Deeper—A Reality Check on U.S. Government Forecasts For a Lasting Tight Oil & Shale Gas Boom, 315 pp. Santa Rosa, CA, USA: Post Carbon Institute.

85- Hussain, Y. 2013. Oil shipping by rail: tank car demand rises at breakneck speed. http://business. financialpost.com/2013/02/22/demand-for-tank-cars-to-ship-crude-oil-by-rail-rises-at-breakneckspeed/?__lsa=6465-20d7. Accessed October 28, 2014.

86- IEA. 2012. Iraq Energy Outlook. http://www.iea.org/publications/freepublications /publication/WEO_2012_Iraq_Energy_OutlookFINAL.pdf. Accessed October 28, 2014.

87- IEA. 2013. World Energy Outlook 2013, 708 pp. Paris: International Energy Agency.

88- IEA. 2014. World Energy Outlook 2014, 600 pp. Paris: International Energy Agency.

89- Illinois State Geological Survey. 2012. Seismic Reflection. http://crystal.isgs.uiuc.edu/sections/geophys/seisref.shtml. Accessed October 31, 2014.

90- Inman, M. 2016. The Oracle of Oil : a maverick geologist's quest for a sustainable future, 337 pp. New York: W.W.Norton & Co., Inc. International Energy Agency; see IEA.

91- Irfan, U. 2014. Burden of Germany's shift to renewable energy falls on taxpayers, but energy rates are close to U.S. range. Washington, D.C., USA: Climate Wire. https://energyindemand.com/2014/10/24/comparing-the-us-to-germanys-energy-transition/. Accessed September 11, 2016.

92- IRS. 2015. Publication 535 (2015), Business Expenses. Washington, D.C., USA: Internal Revenue Service.

93- Itar-Tass. 2014. Cost of South Stream gas pipeline off-shore section can climb over €10 billion. http://en.itar-tass.com/economy/753616. Accessed October 30, 2014.

94- Jevons, W.S. 1865. The Coal Question, 349 pp. London: Macmillan.

Jevons, W.S. 1871. The Theory of Political Economy, 294 pp. London/New York: Macmillan and Co.

95- Jischa, M.F. 2004. Studium der Umweltwissenschaften, 276 pp. Berlin: Springer.

96- Jischa, M.F. 2013. About climate change and future energy systems. Swiss Bulletin für angewandte Geologie 18(2): 83–93.

97- Kearney, A.T. 2013. GSMA Mobile Economy 2013. http://www.gsmamobileeconomy.com/GSMA%20Mobile%20Economy%202013.pdf. Accessed August 28, 2014.

98- Kilian, L., and R.J. Vigfusson. 2014. The Role of Oil Price Shocks in Causing U.S. Recessions. International Finance Discussion Paper 1114, 41 pp. Washington, D.C., USA: Federal Reserve Board.

99- King, C.W., C.A.S. Hall, 2011. Relating Financial and Energy Return on Investment. Sustainability 3(10): 810–1832. Doi:10.3390/su3101810.

100- Knight, F.H. 1921. Risk, uncertainty, and profit. Boston, MA: Houghton Mifflin & Co.

101- Knittel, C.R. 2011. Automobiles on Steroids : Product Attribute Trade-Offs and Technological Progress in the Automobile Sector. American Economic Review 2012. Doi:10.1257/aer.101.7.3368

102- Kopits, S. 2014. Citi vs. Chevron: two opposing views of the oil price future. http://blogs.platts. com/2014/04/09/citi-chevron-oil-price/. Accessed July 14, 2014.

103- Korchemkin, M. 2014. Gazprom claims “Power of Siberia” is one of its least expensive projects. Natural Gas Europe.

http://www.naturalgaseurope.com/gazprom-power-of-siberia-pipelinecost.Accessed October 29, 2014.

104- Kotzot, H., C. Durr, D. Coyle, and C. Caswell. 2007. LNG Liquefaction—Not all plants are created equal. Houston, Texas: KBR Article PS4-1. KBR (ex. Kellog, Brown & Root). 20 pp.

http://www.kbr.com/newsroom/publications/technical-papers/lng-liquefaction-not-allplants- are-created-equal.pdf. Accessed October 15, 2014.

105- Krugman, P. 2014. Ideology and Investment. New York: New York Times. http://www.nytimes. com/2014/10/27/opinion/paul-krugman-ideology-and-investment.html?module=Search&mab

Reward=relbias%3Ar%2C%7B%221%22%3A%22RI%3A7%22%7D&_r=0. Accessed October 27, 2014.

106- Kuykendall, C. 2005. Hubbert Bibliography Compilation Project. http://www.hubbertpeak.com/ hubbert/bibliography.htm. Accessed September 02, 2014.

107- Larsen, D. 2014. ChemWiki: The Dynamic Chemistry E-textbook. E-textbook. http://chemwiki. ucdavis.edu/. Accessed October 24, 2014.

Leaton, J. 2012. Unburnable Carbon—Are the world's financial markets carrying a carbon bubble? 36 pp. London: Carbon Tracker Initiative.

108- Lifton, R.J. 2014. The Climate Swerve. New York: New York Times http://www.nytimes.com/2014/08/24/opinion/sunday/the-climate-swerve.html. Accessed October 28, 2014.

109- Likvern, R. 2012. Is Shale Oil Production from Bakken Headed for a Run with "The Red Queen"? http://www.theoildrum.com/node/9506. Accessed January 28, 2015.

110- Los Angeles Times. 2016. At 15 cents a gallon, it's the cheapest gas in the world—yet Venezuelaworries. Los Angeles: Los Angeles Times. http://www.latimes.com/world/mexico-americas/lafg- venezuela -gasoline-fears-20160219-story.html. Accessed July 20, 2016.

111-Mainelli, M., and I. Harris. 2011. The Price of Fish, 310 pp. London/Boston: Nicholas Brealey Publishing.

112-Manne, R. 2012. How vested interests defeated climate science: A Dark Victory. The Monthly (Australia).

http://www.themonthly.com.au/issue/2012/august/1344299325/robert-manne/darkvictory. Accessed October 28, 2014.

113- Martinot, E., C. Dienst, L. Weiliang, and C. Qimin. 2007. Renewable Energy Futures : Scenariosand pathways. http://www.martinot.info/Martinot_et_al_AR32_prepub.pdf. Accessed December 09, 2014.

114- Maschhoff, B. 2013. Of Milk Cows and Saudi Arabia. http://www.theoildrum.com/node/10238.Accessed October 28, 2014.

115- McCabe, P.J. 1998. Energy Resources—Cornucopia or Empty Barrel? AAPG Bulletin 82(11):2110–2134.

116- McGrath, M. 2013. Fracking: Water concerns persist? London: BBC. http://www.bbc.com/news/ science-environment-23724657. Accessed October 30, 2014.

117- Meadows, D.H., D.L. Meadows, J. Randers, and W.W.I. Behrens. 1972. The Limits to Growth. New York: Universal Books.

118- Mearns, E. 2006. ASPO-USA: Support for Global Energy Flow modelling and a Net Energy database.

http://www.theoildrum.com/story/2006/10/31/144929/65. Accessed October 02,2015.

119- Mearns, E. 2013. Marcellus shale gas Bradford Co Pennsylvania: production history and declines.

http://euanmearns.com/marcellus-shale-gas-bradford-co-pennsylvania-production-history-anddeclines/.Accessed January 06, 2015.

120- Mearns, E. 2016. ERoEI for Beginners.
http://euanmearns.com/marcellus-shale-gas-bradford-copennsylvania-production-history-and-declines/. Accessed May 26, 2016.

121- Michel, J. 2014. Can Germany survive the Energiewende? Energy Post.http://euanmearns.com/marcellus-shale-gas-bradford-co-pennsylvania-production-history-and-declines/. Accessed October 28, 2014.

122- Mitrova, T.A. 2013. Global and Russian energy outlook up to 2040. Moscow: Russian Academy of Sciences. 175 pp.
https://www.eriras.ru/files/2014/forecast_2040_en.pdf. Accessed
September 11, 2016.

123- Moscariello, A. 2016. Reservoir geo-modelling and uncertainty management in the context of geo-energy projects. Swiss Bulletin für angewandte Geologie 16(1): 29–43.

124- Murphy, D. 2011. The Energy Return on Investment Threshold. http://www.theoildrum.com/node/8625. Accessed September 20, 2014.

125- Murphy, D.J., and C.A.S. Hall. 2010. Year in review—EROI or energy return on (energy) invested. Annals of the New York Academy of Science 1185(2010): 102–118.

126- NASDAQ. 2015. Natural Gas Price: Latest Price & Chart for Natural Gas. http://www.nasdaq.com/markets/natural-gas.aspx. Accessed January 27, 2015.

127- Nave, R. 2000. Entropy. http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/
therm/entrop.html. Accessed October 24, 2014.

128- Nelder, C. 2012. What EROI tells us about ROI. http://peakoil.com
/business/chris-nelder-whateroi-tells-us-about-roi. Accessed October 25, 2014.

129- Nordhaus, W. 2014. William Nordhaus: A new model for climate treaties. http://blog.iiasa.ac.at/2014/06/24/william-nordhaus-a-new-model-for-climate-treaties/. Accessed October 13, 2014.

130- Odum, E.P., and G.W. Barrett. 2005. Fundamentals of Ecology. Victoria: Thomson Brooks/Cole.

131- Offshore Technology. 2014. The world's biggest offshore gas projects—Offshore Technology.
http://www.offshore-technology.com/features/featurethe-worlds-biggest-offshore-gas-projects- 4177223/. Accessed October 30 2014.

132- Ore, O. 1960. Pascal and the invention of probability theory. American Mathematical Monthly 67:409–419.

133- Oreskes, N. 2014. Naomi Oreskes Imagines the Future History of Climate Change. New York: New York Times.
http://www.nytimes.com/2014/10/28/science/naomi-oreskes-imagines-thefuture-history-of-climate- change.html?emc=edit_th_20141028
&nl=todaysheadlines&nlid=32693583&_r=1. Accessed October 28, 2014.

134- Oreskes, N., and E.M. Conway. 2010. Merchants of Doubt : How a Handful of Scientists.

135- Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Global Warming, 355 p. New York: Bloomsbury Press. Oweiss, I. 2014.

Pricing of Oil. http://faculty.georgetown.edu/imo3/petrod/poo.htm. AccessedOctober 30, 2014.

136- Owen, D. 2010. The Efficiency Dilemma. The New Yorker Dec 20(2010): 78–79.

137- Ozimek, A. 2014. Note to the Skeptics: the World Will Change for Self-Driving Cars. Forbes.

http://www.forbes.com/sites/modeledbehavior/2014/10/25/note-to-the-skeptics/. Accessed October 27, 2014.

138- Pan, I. 2013. Most operators are seeing declining well costs in the Bakken. New York: Market Realist. Overview of the Bakken Shale oil play 2013-12-12. http://marketrealist.com/2013/12/ operators-seeing

-declining-well-costs-bakken/. Accessed October 29, 2014.

139- Patterson, R. 2014. Post Carbon Institute's LTO Reality Check. http://peakoilbarrel.com/postcarbon- institutes-lto-reality-check/ Accessed October 29, 2014.

140- Pearce, F. 2006. When the rivers run dry : water, the defining crisis of the twenty-first century, 324 p. Boston, MA: Beacon Press.

141- Peet, N.J., and J.T. Baines. 1986. Energy analysis : a review of theory and applications, 56 pp. Auckland: New Zealand Energy Research and Development Committee.

142- PennEnergy. 2013. Seismic survey suggests oil and gas potential for Swala. http://www. pennenergy.com/articles/pennenergy/2013/10/seismic

-survey-suggests-oil-and-gas-potentialfor- swala.html.

Accessed October 31, 2014.

143- Perkins, S. 2012. Is agriculture sucking fresh water dry? Science. http://news.sciencemag.org/2012/02/agriculture-sucking-fresh-water-dry.

Accessed October 30, 2014.

144- Perlez, J. 2014. China and Russia Reach 30-Year Gas Deal. New York: New York Times. http:// www.nytimes.com/2014/05/22/world

/asia/china-russia-gas-deal.html?_r=0. Accessed October 30, 2014.

145- Petrostrategies. 2012. Drilling Success Rates:

http://www.petrostrategies.org/Graphs/drilling_success_rates.htm. Accessed October 30, 2014.

146-Quick, A.N., and N.F. Buck. 1983. Strategic Planning for Exploration Management, 111 pp. Boston, MA: International Human Resources Development Corp.

147- Rabbitt, M.C. 2000. Establishment of the U.S. Geological Survey. U.S. Geological Survey Circular 1050. Washington, D.C., USA: U.S. Geological Survey.

148- Randers, J. 2012. 2052—A Global Forecast for the Next Forty Years, 351 pp. White River Junction, VT, USA: Chelsea Green Publishing.

149- Reinvang, R., and G. Peters. 2008. Norwegian Consumption, Chinese pollution : An example of how OECD imports generate CO2 emissions in developing countries, 34 pp. Oslo: WWFNorway.

150- Rodrigue, J.-P. 2013. Supply, Demand and Equilibrium Price. E-textbook. https://people.hofstra. edu/geotrans/eng/methods/supply
demandprice.html. Accessed October 24, 2014.

151- Royal Dutch Shell. 2009. Shell energy scenarios to 2050, 52 pp. Den Haag: Shell International.

152- Rumsfeld, D.H. 2002. DoD News Briefing of February 12, 2002. Washington, D.C., USA. http:// archive.defense.gov/Transcripts/
Transcript.aspx?TranscriptID=2636. Accessed September 09, 2016.

153- Said, S. 2013. The Mystery of Saudi's Spare Oil Production Capacity. New York: Wall Street Journal.
http://blogs.wsj.com/middleeast/2013/09/18/the-mystery-of-saudis-spare-oil-productioncapacity/.Accessed October 09, 2014.

154- Sampson, A. 1975. The Seven Sisters : The great oil companies & the world they shaped, 334 pp. New York: Viking Press.

155- Schapiro, M., and J. Scorse. 2014. Oil Companies Quietly Prepare for a Future of Carbon Pricing.Yale Environment 360.
http://e360.yale.edu/feature/oil_companies_quietly_prepare_for_a_
future_of_carbon_pricing/2807/. Accessed September 24, 2014.

156- Scheck, J. 2013. A $30 Billion Hole in the Caspian Sea? New York: Wall Street Journal.
http://online.wsj.com/articles/SB10001424127887324050304578412760496098192. Accessed October 29, 2014.

157- Sims, R.E.H., R.N. Schock, A. Adegbululgbe, J. Fenhann, I. Konstantinaviciute, W. Moomaw, H. B. Nimir, and B. Schlamadinger. 2007. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007—Chapter 4. Energy Supplies. Cambridge (UK): Cambridge University Press.

158- Skinner, B.J. 1976. A Second Iron Age Ahead? American Scientist 64(3): 258–269.

159- Skinner, B.J. 1986. Earth Resources, 166 pp. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall.Prentice-Hall Foundations of Earth Sciences.

160- Smith, C.H. 2012. Why Energy May Be Abundant but Not Cheap. http://www.financialsense.com/ contributors/charles-hugh-smith/
why-energy-may-be-abundant-but-not-cheap. AccessedOctober 25, 2014.

161- SPE. 2011. PRMS Guidelines Nov 2011, 222 pp. Richardson, Texas USA: Society of Petroleum Engineers.

162- Tainter, J.A. 1988. The collapse of complex societies, 250 pp. Cambridge (UK): CambridgeUniversity Press.

163- Tainter, J.A. 2010. Energy, complexity, and sustainability: A historical perspective. Environmental Innovations and Societal Transitions 1(1): 89–95. doi:10.1016/j.eist.2010.12.001.

164- Tanaka, N. 2009. Our Global Energy Future—Looking beyond the economic crisis. Warsaw.

165- Tu, K. 2013. Status and Prospects of the Chinese Coal Value. Edinburgh: Global Energy Systems Conference. June, 2013.

166- Tverberg, G. 2013. Our Oil Problems are Not Over! http://ourfiniteworld.com/2013/10/02/our-oilproblems- are-not-over/. Accessed October 31, 2014.

167- UNDESA. 2012. World Population Prospects: The 2012 Revision. New York: United Nations.

168- United Nations. 2015. World Population Prospects, the 2015 Revision. https://esa.un.org/unpd/ wpp/Download/Standard/Population/. Accessed August 30, 2016.

169- US Department of Commerce, BEA. 2016.
http://bea.gov/newsreleases/national/GDP/GDPnewsrelease.htm. Accessed September 09, 2016.

170- US Department of Energy. 2011. Comparing Energy Costs per Mile for Electric and Gasoline-Fuelled Vehicles, 1 p. Washington, D.C., USA: US Department of Energy.

171- US Department of Energy; Energy Information Agency; see entries under EIA.

172- USGS. 2000. USGS World Petroleum Assessment 2000 : description and results by USGS World Energy Assessment Team, Digital Data DDS-60. Reston, VA: US Geological Survey. USGS Digital Data Series, four CD-ROM set.

173- Wagner, A. 2013. International Fuel Prices : 2012–2013/Data preview April 2013, Power point GIZ2013-en-ifp2013. Bonn. Deutsche Gesellschaft für Inter nationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. 7 p.

174- Walras, L.1874. Eléments d'économie politique pur ou théorie de la richesse sociale; Lausanne// Paris; L. Corbaz & Cie//Guillaumin & Cie. 407 p.

175- Warner, N.R., C.A. Christie, R.B. Jackson, and A. Vengosh. 2013. Impacts of Shale Gas Wastewater Disposal on Water Quality in Western Pennsylvania. Environmental Science and Technology, 47(20): 11849–11857. Doi:10.1021/es402165b.

176- Washington's Blog. 2014. Shale Fracking Is a "Ponzi Scheme" … "This Decade's Version of The Dotcom Bubble" … "A Lot In Common With the Subprime Mortgage Market Just Before ItMelted Down". http://www.washingtonsblog.com/2014/09/shale-fracking-ponzi-scheme.html.Accessed October 29, 2014.

177- Wehrey, F., and K. Sadjadpour. 2014. Elusive Equilibrium: America, Iran, and Saudi Arabia in a Changing Middle East. E-journal. http://carnegieendowment.org/2014/05/22/elusiveequilibrium-
america-iran-and-saudi-arabia-in-changing-middle-east.Accessed October 28,2014.

178- Welch, C. 2014. Hydraulic Fracturing.
http://www.earthlyissues.com/gasdrill.htm. Accessed October 30, 2014.

179- White, D. 1919. Unmined supply of petroleum in the United States. Journal Society of Petroleum Engineers 12(5): 361–363.

180- Wilson, J.S., T. Otsuki, and M. Sewadeh. 2002. Dirty exports and environmental regulation : do standards matter to trade? 34 pp. Washington, D.C., USA: World Bank.

181- Wong, E. 2014. Most Chinese Cities Fail Minimum Air Quality Standards, Study Says. New York: New York Times.
http://www.earthlyissues.com/gasdrill.htm. Accessed October 27, 2014.

182- World Bank. 2012. Global Gas Flaring Reduction—Estimated Flared Volumes from Satellite Data, 2007–2011. Washington, D.C., USA: World Bank. http://web.worldbank.org/WBSITE/
EXTERNAL/TOPICS/EXTOGMC/EXTGGFR/0,,contentMDK:22137498*menuPK:3077311*pagePK:64168445*piPK:64168309*theSitePK:578069,00.html. Accessed October 30,2014.

183-World Bank. 2015. GDP (constant 2005 US$) | Data | Table. http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD/countries?display=default. Accessed May 13, 2015.

184- World Bank. 2016. Data—GDP at market prices (current US$). Washington, DC.
http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD. Accessed July 06, 2016.

185- Yergin, D. 1991. The Prize, 781 pp. New York: Simon & Schuster. (+ tables).

A

Arabian Gulf الخليج العربي

B

Bakken formation تكوين باكن

Barrel البرميل

Beer game لعبة البيرة

Black holes الثقوب السوداء

British Thermal Unit (BTU) الوحدة الحرارية البريطانية

Business as usual العمل كالعادة

C

Capex النفقات الرأسمالية

Carbohydrate الكربوهيدرات

Carbon tax ضريبة الكربون

Carbon Tracker متعقب الكربون

Cartel الكارتل (تكتل احتكاري)

Casing غطاء بئر البترول

Cement الإسمنت

Chemically buffered solutions حلول مخزنة كيميائيا

China الصين

Climate change تغير المناخ

Climate clubs نوادي المناخ

Coal الفحم

Complexity التعقيد

Compressed Natural Gas (CNG) الغاز الطبيعي المضغوط

Conventional oil النفط التقليدي

D

Decline rates معدلات الانخفاض

Demand-side peak ذروة جانب الطلب

Depletion allowance بدل النضوب

Depreciation الإندثار- الإنتقاص من القيمة

Directional drilling الحفر الموجه

Drilling mud طين الحفر

E

Economic development التنمية الاقتصادية

Electric cars السيارات الكهربائية

Energiewende التحول نحو المصادر البديلة للنفط وبخاصة الطاقة المتجددة

Energy الطاقة

demand growth نمو الطلب

Efficiency الكفاءة

Intensity الكثافة

Markets الأسواق

Energy Return on Investment (EROI) عائد الطاقة على الاستثمار

Enhanced Oil Recovery (EOR) الاستخلاص المعزز للنفط

F

Factory drilling حفر المصنع

First Law (of thermodynamics) القانون الأول (للديناميكا الحرارية)

Fossil fuels الوقود الأحفوري

Fracking التكسير الهيدروليكي

G

Gambler's ruin خراب المقامر

Government policy سياسة الحكومة

Graphite الجرافيت

Green River Oil Shale سجيل نفط النهر الاخضر في الولايات المتحدة

Gross Domestic Product (GDP الإجمالي (الناتج المحلي

Gulf الخليج

Arabian العربي

of Mexico المكسيك

Persian الفارسي

H

Horizontal wells الآبار الأفقية

Hydraulic fracturing التكسير الهيدروليكي

Hydroelectric energy الطاقة الكهرومائية

I

India الهند

Iran إيران

Iraq العراق

K

Kashagan حقل كاشاجان هو حقل نفط بحري في منطقة بحر قزوين في كازاخستان

L

Landmen رجال الأرض

Liquified Natural Gas (LNG) الغاز الطبيعي المسال

Logs السجلات

M

Marcellus مناطق مارسيلوس في ولاية بنسلفانيا الأمريكية تحتوي على الغاز

Measurement units وحدات القياس

Methane الميثان

Mud الطين (يقصد به طين الحفر)

N

National oil companies شركات النفط الوطنية

Natural gas الغاز الطبيعي

Natural gas pipelines خطوط أنابيب الغاز الطبيعي

Net energy صافي الطاقة

Net energy cliff منحدر صافي الطاقة

Net present value (NPV) صافي القيمة الحالية

Norwegian taxes الضرائب النرويجية

Nuclear energy الطاقة النووية

O

Oil النفط

Oil equivalentnn المكافئ النفطي

Oil price forecast التنبؤ بأسعار النفط

Oil shale السجيل النفطي

Oil storage تخزين النفط

Organization of Petroleum Exporting

منظمة الأقطار المصدرة للبترول Countries
أوبك (OPEC)

P

Peak oil ذروة النفط
Permeability النفاذية
Persian Gulf الخليج الفارسي
Plug and abandon التوصيل والتخلي
Population growth النمو السكاني
Porosity المسامية
Portfolio المحفظة

R

Rate of production معدل الإنتاج
Recessions حالات الركود
Red Queen effect تأثير الملكة الحمراء
Renewable energy الطاقة المتجددة
Reserves الاحتياطيات
Reservoir المكمن
Resources المصادر
Return on Investment (ROI) العائد على الاستثمار
Risk المخاطرة
Royalty الملكية

S

Saudi Arabia المملكة العربية السعودية
Secondary recovery الاسترداد الثانوي
Second Law (of thermodynamics) القانون الثاني (للديناميكا الحرارية)
Seismic الزلزالي
Self-driving cars سيارات ذاتية القيادة
Seven sisters الأخوات السبعة
Shale oil النفط (أو نفط السجيل) الصخري
Social license الرخصة الاجتماعية
Source rocks صخور المصدر
South China Sea بحر الصين الجنوبي
Steady state حالة مستقرة
Stranded assets الأصول التي تقطعت بها السبل
Supply and demand العرض والطلب
Supply-side peak ذروة جانب العرض

T

Tar sands رمال القار
Taxes الضرائب
Tertiary recovery الاسترداد الثالثي
Thermodynamics الديناميكا الحرارية
Thermodynamic systems الأنظمة الديناميكية الحرارية
Thousand cubic feet of methane (MCF) ألف قدم مكعب من الميثان
Tight reservoirs المكامن الضيقة
Transition الانتقال
Trap المصيدة

U

Uncertainty عدم اليقين
Unconventional oil النفط غير التقليدي


تم بحمد الله